

Rapport de stage de
M. ESTEVES Théo

Année scolaire 2024-2025

*En vue de la validation de la partie technique de la mission de
mobilité professionnelle du cycle ingénieur de l'ENSISA -
Spécialité TF*

Observation et optimisation d'impression 3D sur
textile



Référent pédagogique

Mme. WALTHER

Tuteur professionnel

M. YAMADA

Fiche archivage pour la bibliothèque universitaire

L'étudiant

NOM – Prénom : ESTEVES Théo

Année Universitaire : 2024 -2025

Diplôme préparé :

- ☒ Ingénieur 2^e année :
- ☐ GI
 - ☐ ASE
 - ☐ IR
 - ☐ Méca
 - ☒ TF

L'entreprise

Dénomination de l'entreprise : Kyoto Institute of Technology

Adresse complète : Matsugasaki Hashikamicho, Sakyo Ward, Kyoto, 606-0951

Pays : JAPON

Secteur d'activité (Mécanique, médical, ...) : Laboratoire fibro-science

Type d'entreprise (PME, SSII, ...) : Université

Nombre de salariés : 4698 Nombre de cadres : 458

Le rapport de stage

Titre du rapport :

Observation et optimisation d'impression 3D sur textile

Mots-clés pour décrire le sujet de votre mémoire (5 maximum) :

Impression 3D, Textile, PLA, Coton, Compatibilité

Résumé en français de votre mémoire (250 mots maximum) :

Ce projet vise à évaluer la faisabilité de l'impression 3D directe sur textile, en utilisant du PLA déposé sur différentes étoffes, principalement du tricot de coton. Plusieurs configurations ont été testées afin d'optimiser l'adhérence sans altérer la souplesse du tissu. Les résultats montrent une bonne compatibilité entre le PLA et le tricot, avec une résistance proche de celle du flocage classique. Cette technologie offre des perspectives intéressantes pour des applications dans le sport, la mode ou le design technique.

Résumé en anglais de votre mémoire (250 mots maximum) :

This project aims to evaluate the feasibility of direct 3D printing on textiles, using PLA deposited onto various fabrics, primarily cotton knit. Several printing configurations were tested to optimize adhesion without compromising the fabric's flexibility. The results show good compatibility between PLA and knit fabric, with durability comparable to traditional flocking. This technology offers promising prospects for applications in sportswear, fashion, and technical design.

Diffusion

- ☐ le contenu n'est pas confidentiel, diffusion immédiate du rapport.
- ☐ le contenu est confidentiel, diffusion du rapport après une période d'attente de :
- ☐ 1 an ☐ 2 ans ☐ 3 ans ☐ 5 ans ☐ 10 ans

Approbations et diffusion par l'entreprise

Identifications

Nom et prénom du tuteur professionnel

Nom et prénom du stagiaire

Nom de l'organisation

Approbation de diffusion

J'atteste par la présente avoir pris connaissance du rapport de stage de fin d'études et donne mon accord pour son envoi au jury de soutenance.

Reconnaissance de la clause de non plagiat

Je reconnais avoir pris connaissance du formulaire d'information sur le plagiat, contenu dans le présent rapport.

Accord de diffusion

Suite à l'accord entre l'Université de Haute Alsace et la Bibliothèque de l'Université, après audition du stagiaire, le rapport sera confié à la bibliothèque qui en assurera le stockage et la valorisation.

☐ le contenu n'est pas confidentiel, diffusion immédiate du rapport¹.

☐ le contenu est confidentiel, diffusion du rapport après une période d'attente de* :

☐ 1 an ☐ 2 ans ☐ 3 ans ☐ 5 ans ☐ 10 ans*

Fait à

Le

Signature (**représentant de l'entreprise**) :

¹ cocher la mention utile

Formulaire d'information sur le plagiat

Dans le règlement des examens validé par la CFVU du 2 octobre 2014, le plagiat est assimilé à une fraude.

Le plagiat consiste à reproduire un texte, une partie d'un texte, des données ou des images, toute production (texte ou image), ou à paraphraser un texte sans indiquer la provenance ou l'auteur. Le plagiat enfreint les règles de la déontologie universitaire et il constitue une fraude. Le plagiat constitue également une atteinte au droit d'auteur et à la propriété intellectuelle, susceptible d'être assimilé à un délit de contrefaçon.

En cas de plagiat dans un devoir, dossier, mémoire ou thèse, l'étudiant sera présenté à la section disciplinaire de l'université qui pourra prononcer des sanctions allant de l'avertissement à l'exclusion.

Dans le cas où le plagiat est aussi caractérisé comme étant une contrefaçon, d'éventuelles poursuites judiciaires pourront s'ajouter à la procédure disciplinaire.

Je soussigné(e) ESTEVES Théo

Etudiant à l'Université de Haute Alsace en : textiles et fibres

Niveau d'études : BAC +4

Formation ou parcours : Ingénieur textiles et fibres

Reconnaît avoir pris connaissance du formulaire d'information sur le plagiat.

Fait à Kyoto

Le 03/07/2025

Signature :

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, elongated loop followed by a horizontal stroke and a diagonal line extending upwards and to the right.

Table des matières

1. Introduction	7
2. Contexte	8
2.1. Présentation de l'entreprise	8
2.2. L'impression 3D sur textile.....	9
3. Matériels et méthodes	10
3.1. Choix des matières	10
3.2. Étude des paramètres d'impressions	11
3.3. Résistance au lavage	13
3.4. Motif et fichier d'impression	14
4. Optimisation de l'impression 3D sur textile.....	15
4.1. Résultat préliminaire	15
4.2. Influence de la surface textile	17
4.3. Influence de la température de buse d'extrusion	18
4.4. Influence de la température du plateau.....	19
4.5. Influence de la hauteur de buse.....	20
4.6. Influence de l'épaisseur de l'impression	21
4.7. Influence de la vitesse d'impressions	22
4.8. Résistance au lavage	23
5. Conclusion et perspectives	25
6. Bibliographie	27
7. Annexes	28

Remerciement

Pour commencer, je souhaite adresser mes sincères remerciements à Madame WALTHER, professeure référente, pour son accompagnement, ses conseils et son suivi tout au long de ce projet, ainsi qu'à Monsieur YAMADA, mon tuteur de stage, pour son encadrement, sa disponibilité et la richesse de ses enseignements. Leur soutien et leurs orientations ont grandement contribué à la réalisation et à la qualité de ce travail.

Je tiens également à remercier chaleureusement l'ENSISA et l'ensemble de l'équipe pédagogique qui m'ont permis d'entreprendre ce stage dans le cadre de mon cursus. Leur confiance et leur volonté d'ouvrir les étudiants à des expériences internationales représentent une opportunité précieuse et formatrice.

Mes remerciements s'adressent aussi au Kyoto Institute of Technology (KIT), pour son accueil et pour la mise en place d'une organisation permettant aux étudiants étrangers de s'intégrer rapidement et de travailler dans les meilleures conditions.

Je suis particulièrement reconnaissant envers l'ensemble du laboratoire de recherche du professeur Yamada, dont la bienveillance, la disponibilité et le professionnalisme ont été essentiels pour la bonne conduite de mes travaux.

Enfin, j'aimerais remercier sincèrement les autres étudiants du laboratoire pour leur esprit d'entraide, leur convivialité et les échanges enrichissants qui ont rendu ce stage encore plus agréable et motivant.

1. Introduction

L'impression 3D s'est imposée ces dernières années comme une technologie de fabrication innovante, capable de transformer les méthodes de conception dans de nombreux secteurs industriels. Initialement utilisée pour le prototypage rapide et la fabrication de pièces techniques, elle tend aujourd'hui à s'intégrer dans des domaines plus inattendus, comme le textile. Ce rapprochement entre le monde souple des étoffes et la précision structurée des polymères ouvre un champ d'exploration encore largement en développement : celui de la fabrication hybride, à la frontière entre flexibilité et rigidité, confort et fonctionnalité.

Dans ce contexte, ce projet de stage s'inscrit dans une démarche expérimentale visant à évaluer la compatibilité entre l'impression 3D et un support textile, dans une optique de personnalisation, de renforcement localisé, ou de création de motifs fonctionnels ou esthétiques. Le principe repose sur l'extrusion de polymère fondu, en l'occurrence du PLA, directement sur une étoffe textile, afin d'obtenir une bonne adhérence tout en conservant les propriétés mécaniques et visuelles du support afin de s'apparenter à un flocage thermocollant classique.

L'objectif principal a été de comparer différentes structures textiles et configurations d'impression, afin d'identifier les paramètres clés influençant la qualité d'adhérence, la résistance au lavage et la stabilité du motif imprimé. Les matériaux testés incluent une toile de coton et plusieurs échantillons de tricot, sur lesquels des motifs ont été déposés avec des réglages contrôlés : température de buse, température de plateau, hauteur d'extrusion, hauteur de buse par rapport au textile, etc.

L'étude repose sur des phases de test d'impression, d'observation macroscopique et de tests de lavage normalisés (lavage à 60 °C, séchage à l'air libre), afin de simuler les contraintes réelles d'usage dans le domaine de l'habillement. Des éléments tels que l'altération du motif, le décollement partiel ou total, ou la modification dimensionnelle du textile ont été analysés pour tirer des conclusions sur la compatibilité textile/polymère.

Ce travail, à la croisée des domaines du textile, de la plasturgie et du design fonctionnel, vise ainsi à mieux comprendre le potentiel et les limites de l'impression 3D sur étoffes, dans l'optique d'un développement futur de cette technologie vers des applications concrètes, notamment dans les secteurs du sport, de la mode ou de l'orthopédie.

2. Contexte

2.1. Présentation de l'entreprise

Mon stage s'est déroulé au Functional Materials Laboratory, rattaché à la division de l'Advanced Fibro-Science de l'Université de Technologie de Kyoto (Kyoto Institute of Technology). Ce laboratoire fait partie d'un département de recherche de niveau master et doctorat, créé en 1998, qui se concentre sur l'étude des matériaux fibreux avancés, notamment les textiles fonctionnels, les nanocomposites, les matériaux durables et les systèmes sensibles. Le laboratoire mène des recherches fondamentales sur la création de films minces nanocomposites et sur le développement de nouveaux matériaux fonctionnels. Cette approche scientifique repose sur le contrôle de la nanostructure des polymères et l'évaluation de leurs propriétés physiques afin d'en améliorer la durabilité, la fonctionnalité et l'impact environnemental.

Sous la direction du professeur Kazushi YAMADA, docteur en science des polymères, le laboratoire se consacre à plusieurs axes majeurs de recherche. Parmi ceux-ci figure l'étude de la dégradation des polymères, notamment à travers l'exposition prolongée de plastiques à des conditions extrêmes telles que la chaleur, l'humidité et les rayons UV. Ces recherches ont pour objectif de mieux comprendre le vieillissement des matériaux et de développer des techniques de mesure non destructives et précises, par exemple par spectroscopie de fluorescence. Une autre thématique essentielle est le scellage thermique des films plastiques utilisés dans les emballages alimentaires, médicaux ou industriels.

Le laboratoire accorde également une attention particulière aux matériaux naturels et aux fibres issues de l'artisanat traditionnel japonais, tels que le papier washi ou la laque urushi. Dans une logique de durabilité, les chercheurs y créent des films et des composites en utilisant des fibres naturelles, des nanofibres végétales ou marines, ou encore de la fibroïne de soie obtenue par des méthodes de broyage innovantes. Ces matériaux sont étudiés pour leurs propriétés mécaniques, thermiques et optiques, et sont testés pour leur résistance à la lumière, à la chaleur ou à l'humidité. L'approche du laboratoire vise à réduire la dépendance aux polymères synthétiques et à promouvoir des alternatives biosourcées, biodégradables ou recyclables.

Le laboratoire dispose d'un parc instrumental très complet, permettant des analyses avancées sur les matériaux polymères et composites. Parmi les équipements utilisés figurent un microscope électronique à balayage (SEM), un microscope à force atomique (AFM), des spectromètres Raman et FT-IR, un spectrofluorophotomètre 3D, un calorimètre différentiel à balayage (DSC), ainsi que des systèmes de soudage laser et de scellage thermique par impulsion. Ces outils permettent d'étudier à différentes échelles la morphologie, la composition chimique, la cristallinité ou encore les propriétés optiques et thermiques des échantillons.

Le professeur YAMADA, qui dirige le laboratoire, possède une longue carrière de chercheur au sein du KIT. Il y a débuté comme assistant en 2003, avant de devenir professeur associé, puis professeur titulaire en 2025. Il a également effectué un séjour de recherche à l'Université nationale de Singapour. Ses travaux ont donné lieu à de nombreuses publications dans des revues internationales, ainsi qu'à plusieurs brevets. Parmi les publications récentes figurent des recherches sur les vernis urushi résistants aux UV, sur les composites PLA/fibre de coton durables, ou encore sur le soudage laser sans dégradation de surface de films fluoroplastiques.

L'Université de Technologie de Kyoto est une institution publique de recherche spécialisée, historiquement liée à l'industrie textile japonaise. Elle est reconnue pour l'excellence de ses programmes dans les domaines de la science des matériaux, de la chimie appliquée, du design et des fibres fonctionnelles.

En conclusion, le Functional Materials Laboratory représente un lieu de recherche d'excellence, à la croisée de l'innovation technologique, de la durabilité environnementale et de la valorisation de matériaux naturels et traditionnels. Mon intégration dans ce laboratoire m'a permis de m'initier à des problématiques de recherche avancées, à des équipements de pointe, et de contribuer à un projet à fort potentiel scientifique et industriel dans le domaine des matériaux polymères.

2.2. L'impression 3D sur textile

Dans le cadre de ma formation d'ingénieur textile, j'ai choisi d'orienter mon projet de stage autour de l'impression 3D sur textile. Ce sujet s'inscrit à la croisée des domaines du textile, des matériaux polymères et de la fabrication additive. Il m'a semblé particulièrement pertinent d'explorer cette thématique à la fois innovante, expérimentale et porteuse d'applications industrielles concrètes, dans une logique d'interdisciplinarité et d'ouverture vers les technologies émergentes.

L'impression 3D est en pleine expansion dans le secteur des matériaux, notamment en raison de sa capacité à produire des formes complexes, sur-mesure et fonctionnelles. Appliquée au textile, elle ouvre de nouvelles perspectives : modification des propriétés mécaniques des étoffes, ajout de fonctionnalités (grip, décoration, structure 3D, etc.), développement de produits hybrides alliant souplesse et rigidité localisée.

Ce sujet répond à plusieurs enjeux scientifiques :

- Étudier l'interaction entre un polymère rigide et un support textile souple.
- Comprendre les conditions d'adhérence mécanique et thermique entre les deux matériaux.
- Évaluer les limites d'élasticité, de résistance et de durabilité d'un motif imprimé soumis à des sollicitations mécaniques (étirement, flexion, etc.).

Le choix de ce sujet a aussi été guidé par le contexte technologique du laboratoire d'accueil. En effet, celui-ci dispose d'un parc d'imprimantes 3D bien équipé et régulièrement utilisé dans d'autres projets de recherche. La présence de ces équipements m'a permis d'explorer les paramètres d'impression (température, vitesse, épaisseur de couche, etc.) et de réaliser plusieurs expériences.

3. Matériels et méthodes

3.1. Choix des matières

Pour la réalisation des impressions 3D, le matériau choisi est le PLA (acide polylactique). Ce polymère thermoplastique biosourcé est obtenu à partir de ressources renouvelables telles que l'amidon de maïs ou la canne à sucre. Son utilisation s'inscrit dans une démarche écoresponsable, en cohérence avec les préoccupations actuelles liées à la durabilité dans l'industrie textile. Le PLA présente en effet plusieurs caractéristiques qui le rendent particulièrement intéressant dans ce projet. Son point de fusion modéré, généralement situé entre 170 et 180 °C, ainsi que sa faible tendance au retrait ou à la déformation pendant l'impression, en font un matériau facile à utiliser et permettant une bonne qualité de dépôt. Sa rigidité, supérieure à celle d'autres polymères comme le nylon ou le TPU, permet de créer un contraste marqué avec la souplesse du support textile, ce qui favorise l'évaluation de l'adhérence et de la cohésion entre les deux matériaux. Le PLA présente également l'avantage d'être partiellement biodégradable dans des conditions industrielles spécifiques, ce qui ouvre des perspectives dans une logique d'économie circulaire. Bien qu'il reste sensible à la chaleur et à l'humidité, ce qui peut constituer une limite pour certaines applications textiles, il demeure l'un des filaments les plus utilisés en impression 3D. Cette accessibilité et cette reproductibilité assurent la pertinence de son choix dans le cadre d'expérimentations visant une transposabilité à grande échelle.

Le support textile sélectionné est un tricot de coton fin servant à la fabrication de t-shirts. Ce choix repose à la fois sur des considérations écologiques, pratiques et scientifiques. Le coton est une fibre d'origine végétale, largement répandue à travers le monde, ce qui en fait un matériau de référence dans l'industrie textile. Sa nature biosourcée en fait également un allié pertinent dans une approche durable, en cohérence avec le choix du PLA comme filament. L'utilisation du coton permet donc de garantir une certaine représentativité des résultats obtenus, car il s'agit de l'une des fibres les plus couramment employées dans la fabrication de vêtements et d'articles textiles. Au-delà de sa composition, la structure tricotée a été retenue pour ses propriétés mécaniques distinctives. Contrairement à une toile tissée, le tricot se caractérise par une grande extensibilité, une élasticité marquée et une souplesse qui le rendent particulièrement intéressant pour tester l'adhérence et la flexibilité d'un motif imprimé en 3D. Cette configuration permet d'analyser la manière dont le polymère se comporte lors d'un étirement du textile, d'observer les limites de cohésion entre le motif et le support, mais aussi de déterminer si l'impression altère ou non le confort et la souplesse inhérents à ce type de structure. Très présent dans le secteur de l'habillement, le tricot représente donc un support à la fois pertinent sur le plan scientifique et réaliste sur le plan industriel pour explorer le potentiel de l'impression 3D appliquée au textile.

3.2. Étude des paramètres d'impressions

Dans cette étude, plusieurs paramètres d'impression ont été analysés afin de déterminer leur influence sur la qualité finale des motifs imprimés sur textile. Les principaux paramètres étudiés sont la température de la buse, la température du plateau, la hauteur de buse, l'épaisseur de couche, la largeur de ligne, le taux de remplissage et la vitesse d'impression.

La température de la buse est un paramètre crucial car elle détermine la fluidité du filament au moment de son dépôt sur le textile. Une température trop basse peut entraîner une mauvaise fusion du filament avec le tissu et un motif fragile, tandis qu'une température trop élevée peut provoquer des surépaisseurs, des bulles ou une dégradation thermique du polymère. L'objectif est donc d'atteindre une température permettant une adhérence optimale sans compromettre la régularité du motif.

La température du plateau est également déterminante, car elle influence le transfert thermique entre le tissu et le filament. Une température adaptée favorise l'adhérence initiale du filament au support et réduit le risque de décollement ou de flambage du motif, en particulier sur les textiles souples comme le tricot.

La hauteur de buse par rapport au textile conditionne l'épaisseur et la régularité du dépôt de filament. Une buse trop basse peut écraser le tissu et provoquer des stries ou un motif rigide, tandis qu'une buse trop haute risque de déposer le filament de manière incomplète, compromettant l'adhérence et la continuité du motif.

Ensuite, l'épaisseur de couche et la largeur de ligne vont permettre de déterminer la densité du motif imprimé et influencent directement la souplesse et la résistance mécanique du motif. Une couche trop épaisse ou des lignes trop espacées peuvent rendre le motif rigide et réduire sa capacité à suivre les déformations du textile, alors qu'un dépôt trop fin peut limiter l'adhérence et créer des zones non remplies.

Le taux de remplissage agit sur la solidité interne du motif. Un remplissage trop faible entraîne des zones fragiles et un motif facilement détachable, tandis qu'un remplissage trop élevé peut rigidifier l'impression et limiter la souplesse nécessaire à l'intégration textile.

Enfin, la vitesse d'impression influence la régularité du dépôt de filament. Des vitesses trop élevées peuvent provoquer des décalages, des manques de matière ou une adhérence insuffisante, tandis qu'une vitesse trop faible augmente le temps d'impression et le risque de surchauffe locale du filament.

L'étude systématique de ces paramètres permet donc de comprendre leur influence respective et de définir des conditions optimales pour obtenir un motif à la fois net, adhérent et suffisamment souple pour être compatible avec un usage textile.

Pour isoler l'influence de chaque paramètre, les essais ont été réalisés en faisant varier un facteur à la fois, conformément à une méthodologie de plan d'expérience. Cette approche permet de comparer directement les échantillons et de mettre en évidence l'effet de chaque paramètre sur la qualité finale de l'impression.

Impression	Type de textile	Température buse (°C)	Température plateau (°C)	Hauteur buse (mm)	Épaisseur de couche (mm)	Vitesse (mm/s)
1er essai (test préalable)	Tricot coton	230	65	1	0,2	25
2eme essai (référence)	Tricot coton	245	80	0,5	0,2	25
3eme essai (surface)	Toile coton	245	80	0,5	0,2	25
4eme essai (température de buse)	Tricot coton	230	80	0,5	0,2	25
5eme essai (température plateau)	Tricot coton	245	65	0,5	0,2	25
6eme essai (hauteur de buse)	Tricot coton	245	80	1,2	0,2	25
7eme essai (épaisseur d'impression)	Tricot coton	245	80	0,5	0,5	25
8eme essai (épaisseur d'impression)	Tricot coton	245	80	0,5	0,1	25
9eme essai (vitesse d'impression)	Tricot coton	245	80	0,5	0,2	15

Tableau 1: Tableau récapitulatif des tests réalisés

L'étude de la qualité d'impression sur textile a été réalisée en suivant un protocole standardisé pour chaque critère d'évaluation, afin d'assurer une comparaison fiable entre les échantillons. La netteté et la régularité des motifs ont été évaluées à l'œil nu et à l'aide de photographies macro prises perpendiculairement à la surface du tissu. Chaque motif a été examiné sur plusieurs zones représentatives, en notant la présence de stries, d'interruptions d'extrusion, de surépaisseurs ou de manques de matière. Les contours et la continuité des lignes ont été observés pour évaluer l'uniformité esthétique et mécanique. Les photographies ont été prises avec un fond neutre et un éclairage constant pour limiter les variations visuelles, et chaque défaut identifié a été documenté et comparé entre les échantillons en fonction des paramètres d'impression appliqués, tels que la température de buse, la hauteur de dépôt et l'espacement des lignes.

L'adhérence des motifs au textile a été mesurée qualitativement à l'aide de tests manuels standardisés. Un test de grattage a été effectué avec l'ongle sur différentes zones de chaque motif, en appliquant une pression constante et progressive, afin de vérifier la résistance au détachement. Un test de traction simple a également été réalisé, en étirant le textile doucement dans les directions longitudinale et transversale, et en observant si l'impression restait solidaire du support. Les mêmes observations ont été effectuées pour des tests de souplesse, l'étoffe a été repliée sur elle-même avec différentes zones du motif au milieu du pli puis écrasée jusqu'à contact des deux plis afin d'observer d'éventuelle dégradation du motif. Chaque observation a été notée selon l'intensité du détachement ou des fissures constatées, permettant de comparer la tenue du filament en fonction des réglages d'impression et du type de textile utilisé.

La souplesse et l'élasticité ont été évaluées en combinant observations visuelles et mesures quantitatives. Pour l'observation qualitative, le tissu a été étiré manuellement, et la déformation du motif a été observée pour déterminer s'il suivait les mouvements du textile sans fissurer ni se décoller. Pour la mesure quantitative, un protocole d'étirement contrôlé a été appliqué sur des

segments précis du motif, avec des allongements de 10, 15 et 20 % de la longueur initiale. Pour cela nous avons pris une zone de 15 cm avec le motif au centre de cette zone et nous avons étiré dans la largeur puis la hauteur du motif (également celles des boucles du tricot car le motif a été positionné en fonction de ces dernières). Ces pourcentages ont été choisis en fonction de l'élasticité du tricot sans motif car après plusieurs tests, une déformation au-delà de 20% devient plastique et nous voulons rester dans la zone élastique. Chaque étape d'allongement a été annotée pour documenter la continuité du motif et la présence éventuelle de fissures ou de décollements, permettant d'évaluer l'intégration mécanique du filament dans la maille du tissu et la résistance du motif aux contraintes mécaniques.

Enfin, l'homogénéité de l'extrusion a été analysée à l'œil nu et à l'aide de photographies macro, en inspectant les lignes imprimées sur toute la surface du motif. Les zones présentant des interruptions de filament, des surépaisseurs ou des manques de matière ont été notées et documentées photographiquement. Cette approche permet de relier directement la régularité du dépôt de matière à la netteté, à l'adhérence et à la souplesse du motif, et de déterminer quels paramètres d'impression optimisent la qualité globale des impressions sur textile.

3.3. Résistance au lavage

Pour évaluer la durabilité des motifs imprimés sur textile, un protocole de lavage standardisé a été appliqué sur tous les échantillons. Les tests ont été réalisés à domicile à l'aide d'une machine à laver grand public, en suivant un programme de lavage à 60 °C correspondant aux conditions domestiques les plus courantes pour le linge en coton. La lessive utilisée était une formule classique sans agents blanchissants spécifiques ni adoucissant, afin de limiter les variations chimiques pouvant influencer l'adhérence du filament au textile. Les échantillons ont été placés dans le tambour du lave-linge sans précaution particulière pour imiter un lavage domestique classique, et le séchage a été effectué à l'air libre sur un fil, sans exposition directe à une source de chaleur, pour éviter toute déformation thermique du filament.

L'objectif principal de ce test était d'étudier la tenue des impressions face aux contraintes combinées de l'eau chaude, des mouvements mécaniques et de la lessive. Les paramètres observés comprenaient le décollement du motif, la fissuration de l'impression et toute modification dimensionnelle du textile ou du motif. Chaque échantillon a été examiné visuellement et photographiquement avant et après lavage pour permettre une comparaison précise et documentée.

À terme, ce protocole pourrait être étendu pour évaluer la tenue des impressions selon des normes industrielles plus strictes, telles que la norme ISO 6330 relative aux essais de lavage des textiles. L'étude pourrait alors inclure différents cycles de lavage, des températures variées, des agents chimiques spécifiques, ainsi que des tests de séchage en tambour pour reproduire les conditions d'usage les plus exigeantes. Ces données permettront de déterminer la compatibilité du filament et des paramètres d'impression avec des conditions d'entretien standard dans le secteur textile et de proposer des ajustements afin d'optimiser la durabilité des motifs imprimés sur différents types de tissus.

3.4. Motif et fichier d'impression

Pour ce premier test d'impression 3D sur textile, le choix du motif a été guidé par la volonté de se concentrer sur les aspects techniques du procédé sans consacrer de temps à la création graphique. Le logo WWF s'est imposé comme une solution adaptée en raison de sa richesse géométrique et de ses caractéristiques variées, permettant d'évaluer la qualité d'impression et l'interaction entre le filament et le textile. Ce logo comporte des zones fines et des traits étroits, utiles pour tester la précision du dépôt de matière et la capacité du PLA à adhérer sur des surfaces peu denses sans bavure ni cassure. Les zones épaisses et pleines offrent la possibilité d'analyser l'uniformité du remplissage, la régularité des couches, ainsi que le comportement du filament sur de grandes surfaces en termes d'adhérence et de rétraction. De plus, les angles vifs et les coins serrés constituent un test de précision pour le déplacement de la buse et la fidélité des contours, notamment sur un support textile comme le tricot susceptible de se déformer légèrement ou de bouger. Les formes courbées et arrondies permettent d'observer la fluidité du filament lors de trajectoires complexes et de détecter d'éventuels à-coups ou imprécisions lors des changements de direction. Enfin, les espaces vides entre les éléments du motif servent à vérifier si le textile reste intact et visible, sans débordement de matière ni migration thermique. L'ensemble de ces caractéristiques fait du logo WWF un motif pertinent pour révéler les interactions entre textile et filament, telles que l'adhérence, la netteté des contours, le risque de décollement, l'influence de la pilosité du tissu et la stabilité mécanique du motif lors de sollicitations. Ce choix a ainsi permis de réaliser de multiples observations sur un seul motif tout en conservant une cohérence graphique et une facilité de comparaison entre différents réglages d'impression.

La préparation du fichier d'impression a consisté à récupérer le logo WWF au format .png, puis à le convertir en fichier .stl grâce au site en ligne [ImageToSTL](https://www.image2stl.com/), sans nécessiter l'installation d'un logiciel supplémentaire. Le format .stl, standard pour l'impression 3D, décrit la géométrie du modèle sous forme de maillage triangulaire, ce qui permet son traitement par les logiciels de tranchage. Le fichier obtenu a été importé dans eufyMake Studio (figure 1), où la configuration suivante a été appliquée pour ce test initial : un remplissage de 100 % pour garantir un motif plein et robuste, facilitant l'évaluation de l'adhérence sur toute la surface ; une seule couche afin de limiter l'épaisseur du motif et éviter un décollement lié à une surépaisseur ; un contour unique, paramètre par défaut, pour réduire les chevauchements de matière sur les bords ; et enfin, l'absence de couche d'accroche supplémentaire (brim, raft ou skirt désactivés) afin d'observer directement le comportement du filament sur le textile sans interface. Cette configuration simple et épurée a été choisie dans une logique expérimentale, visant à isoler les paramètres principaux influençant l'adhésion du PLA sur le textile et à permettre une analyse rigoureuse des résultats d'impression.

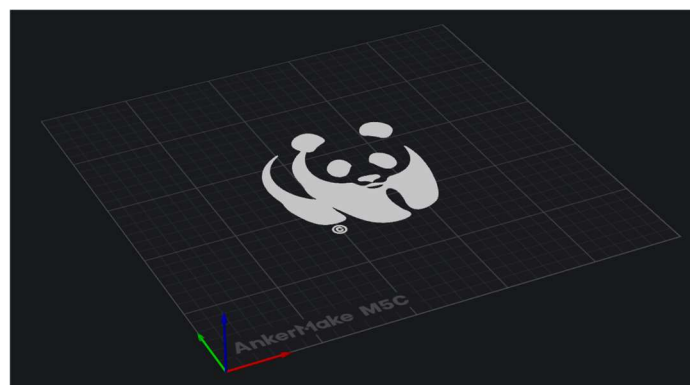


Figure 1: représentation dans eufyMake

4. Optimisation de l'impression 3D sur textile

4.1. Résultat préliminaire

Avant de lancer l'impression, deux mesures d'épaisseur ont été réalisées afin d'ajuster précisément la hauteur de la buse. La première mesure, effectuée avec un appareil comprimant légèrement le textile pour évacuer l'air (*figure 2*), indiquait une épaisseur réelle de 0,5 mm.



Figure2 : mesure comprimée

La seconde mesure, plus représentative des conditions réelles d'impression, prenait en compte la pilosité du tricot et la nécessité de laisser le tissu coulisser librement sous la buse (*figure 3 et 4*) : une valeur de 1,7 mm a été relevée, à laquelle il convenait d'ajouter 0,2 mm correspondant à la première couche de filament. La hauteur totale calculée était donc de 1,9 mm, arrondie à 2 mm pour simplifier le réglage de la buse. Toutefois, en raison d'une erreur de paramétrage, l'impression a finalement été réalisée avec une hauteur de seulement 1 mm qui n'était au final pas problématique.



Figure 2, 4 : mesure avec liberté du textile

L'échantillon textile, découpé en carré de 30 x 30 cm, a été fixé manuellement sur le plateau à l'aide de pinces de type clip pour papier (*figure 5, 6 et 7*). Afin d'éviter tout déplacement indésirable du plateau ou de la buse, l'étoffe a été retaillée une fois positionnée. Le motif a été imprimé avec les paramètres correspondants au tableau 2. Durant le calibrage automatique, la tête d'impression est entrée en contact avec l'une des pinces situées à l'avant, perturbant temporairement le processus. Ce problème a pu être contourné, mais il a mis en évidence la nécessité de repositionner plus stratégiquement les pinces dans les essais ultérieurs. Malgré ces difficultés, l'impression s'est poursuivie jusqu'à son terme. Un frottement de la buse sur certaines parties centrales déjà déposées a néanmoins été observé, confirmant que la hauteur initiale choisie n'était pas adaptée.

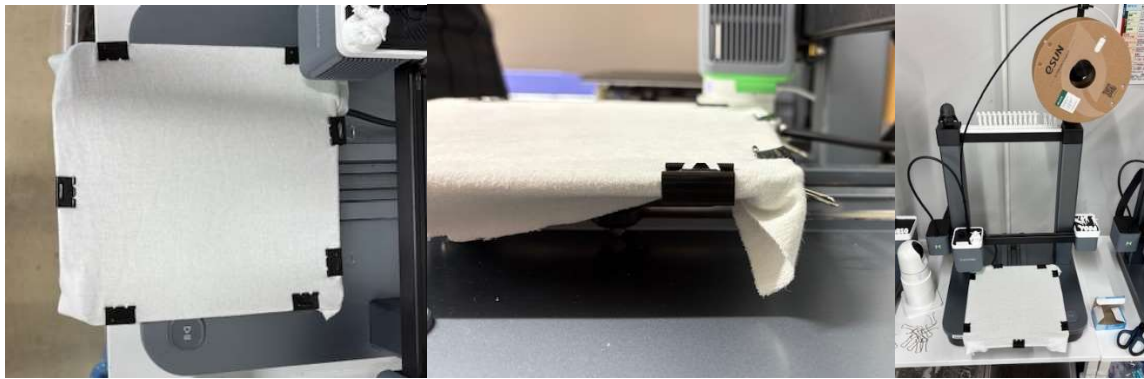


Figure 5, 6, 7 : mise en place de l'étoffe sur l'imprimante 3D

Le motif obtenu présentait plusieurs défauts (Annexe 1). Des traces étaient visibles sur les zones de déplacement de la buse et la surface imprimée montrait un aspect strié, non uniforme, probablement lié à une hauteur mal paramétrée de la buse. Certains manques de matière pouvaient également être constatés, signe d'un débit irrégulier ou d'une mauvaise adhérence au support. Un espacement entre le remplissage et les contours suggérait par ailleurs une calibration imparfaite ou une vitesse d'impression trop élevée. Lors d'une évaluation qualitative de l'adhérence, réalisée à l'œil nu et par simple grattage manuel, le motif pouvait être retiré relativement facilement à l'aide de l'ongle, ce qui s'expliquait en partie par la pilosité de l'étoffe empêchant une bonne pénétration du polymère. Lors des essais d'étirement manuel du tricot, réalisés de manière qualitative mais en respectant des paliers de 10 %, 15 % et 20 %, le motif s'est rapidement décollé du tissu, confirmant la faible compatibilité entre ce premier paramétrage et la souplesse attendue pour des applications textiles.

Malgré ces limites, certains résultats encourageants pouvaient être soulignés. Le motif demeurait globalement net et correctement défini, le tissu n'a pas glissé durant l'impression, et la mise en place du textile sur le plateau s'est révélée simple et rapide. De plus, la durée d'impression, d'environ cinq minutes, a constitué un atout pour multiplier les essais dans une logique d'optimisation.

Type textile	Température buse (°C)	Température plateau (°C)	Hauteur buse (mm)	Épaisseur de couche (mm)	Vitesse (mm/s)
Tricot coton	230	65	1	0,2	25

Tableau 2 : Paramètres utilisés pour l'impression préalable

De ces observations découlaient plusieurs pistes d'amélioration. L'utilisation d'un filament plus souple, tel que le TPU ou un PLA flexible, apparaît comme une voie prometteuse pour accompagner les déformations du tissu, même si ce type de matériau n'était pas disponible au moment du test. L'ajustement correct de la hauteur initiale de la buse, fixée à 2 mm, sera indispensable pour éviter tout défauts lors de l'impression du motif. Un taux de remplissage plus élevé permettrait d'améliorer l'uniformité et la résistance mécanique du motif. Enfin, le recours à des étoffes plus rigides et moins poilues pourrait limiter les phénomènes de décollement lors des étirements ou des frottements. L'optimisation des températures de la buse et du plateau constituera également un paramètre essentiel pour renforcer l'adhérence thermique, tandis qu'un traitement de surface du textile (par exemple un flambage de la surface pileuse) pourrait contribuer à limiter l'accroche superficielle et favoriser une meilleure intégration du polymère dans la structure du tricot.

4.2. Influence de la surface textile

Afin d'évaluer l'influence du support textile sur l'adhérence du filament, une seconde série d'essais a été réalisée en remplaçant l'étoffe en tricot de coton par une toile. Les paramètres d'impression sont restés identiques à ceux utilisés précédemment, à savoir une température de buse de 240 °C, une température de plateau de 80 °C, une hauteur de buse fixée à 0.5 mm, une largeur de ligne de 0,5 mm et une vitesse d'impression de 25 mm/s. Ce choix méthodologique permet de comparer directement l'influence de la structure textile, indépendamment des conditions de dépôt.

Contrairement au tricot, la toile se caractérise par une structure beaucoup plus serrée et un comportement mécanique quasi inélastique. De ce fait, le test de résistance à l'étirement du motif n'a pas pu être effectué. Néanmoins, l'observation macroscopique du dépôt a permis de tirer plusieurs enseignements. Tout d'abord, le motif obtenu est net et régulier, sans interruption d'extrusion ni défaut de continuité du filament. L'extrusion apparaît homogène et contrôlée. Cependant, l'adhérence au textile s'avère extrêmement faible : le dépôt se décolle très facilement, parfois simplement au passage du doigt, sans nécessiter de contrainte mécanique significative. Lors du test de souplesse, un décollement complet du motif a également été observé. Enfin, le grattage léger suffit à détacher la matière de manière quasi totale.

Ces résultats compilés dans le tableau 3 montrent que, bien que la toile permette d'obtenir un motif visuellement satisfaisant et régulier, elle n'offre quasiment aucune accroche au filament fondu (Annexe 2)

Paramètre observé	Tricot de coton	Toile
Définition du motif	Bonne	Très bonne
Extrusion	Irrégulière (manques localisés)	Homogène et continue
Adhérence au support	Correcte (décollage en insistant)	Très faible (décollage au simple contact du doigt)
Résistance à l'étirement	Motif se décolle partiellement	Non testable (toile inélastique)
Résistance au grattage	Bonne (détachement localisé)	Nulle (détachement complet et immédiat)
Résistance à la souplesse	Décollement partiel	Décollement complet
Stabilité du textile	Correcte	Correcte

Tableau 3 : Résultats de l'influence de la surface textile

La comparaison entre les deux supports met en évidence l'importance de la structure et de la surface textile dans le processus d'adhérence du filament polymère. Dans le cas du tricot de coton, la pilosité et la structure lâche du maillage permettent au filament fondu de pénétrer légèrement entre les fibres, offrant une adhérence minimale mais existante. À l'inverse, la toile, plus dense et dépourvue de poils en surface, ne présente aucune aspérité permettant une accroche mécanique. Le filament reste en surface et se comporte comme une simple pellicule déposée, ce qui explique son décollement immédiat même sous de faibles sollicitations. Ce

phénomène confirme que l'adhérence dans l'impression 3D sur textile ne dépend pas seulement des paramètres d'extrusion, mais également des caractéristiques intrinsèques du support, en particulier sa porosité, sa pilosité et sa rugosité de surface.

4.3. Influence de la température de buse d'extrusion

La température de la buse constitue l'un des paramètres les plus déterminants en impression 3D, car elle régule directement l'état viscoélastique du polymère extrudé. En effet, lorsque le filament est chauffé, sa viscosité diminue, ce qui conditionne à la fois sa capacité à s'écouler de manière continue, à s'aplatir correctement sur le support et à pénétrer partiellement dans les fibres du textile. Ce phénomène est particulièrement critique dans le cas d'une impression directe sur tissu, où l'adhésion ne repose pas uniquement sur la fusion entre deux couches polymères successives, mais aussi sur l'ancrage mécanique dans les mailles du tricot.

Dans le cadre de cette étude, deux températures de buse ont été testées : 230 °C et 245 °C. Tous les autres paramètres d'impression ont été volontairement maintenus constants afin d'isoler l'effet de ce facteur. Ainsi, la température du plateau a été fixée à 80 °C afin de limiter les chocs thermiques et favoriser la stabilisation du dépôt, la hauteur de buse réglée à 0,5 mm pour assurer un léger contact avec le textile, la largeur de ligne définie à 2 mm pour garantir un motif bien visible, la vitesse d'impression stabilisée à 25 mm/s pour éviter des variations d'extrusion, et enfin l'épaisseur de couche fixée à 0,2 mm pour un compromis entre résolution et rapidité.

Les résultats obtenus révèlent une différence nette entre les deux conditions (Annexe 3). À 230°C, la netteté visuelle du motif imprimé reste correcte, ce qui montre que le filament parvient malgré tout à suivre la trajectoire imposée. Cependant, on observe des interruptions fréquentes dans le flux d'extrusion, signe d'une viscosité encore trop élevée du PLA à cette température. Cette irrégularité se traduit par une homogénéité réduite du dépôt et des zones fragiles dans la continuité du motif. L'adhésion avec le textile apparaît également plus faible : lors des essais de grattage, une partie du polymère se décolle facilement, traduisant une pénétration insuffisante dans les interstices du tricot. De même, les tests de souplesse et de traction mettent en évidence un manque de cohésion : le motif se déchire ou se sépare du support plus rapidement, et l'élasticité globale de l'ensemble textile-impression reste limitée.

Allongement appliqué	230 °C	245 °C
10%	Aucun décollement	Aucun décollement
15%	Décollement faible	Aucun décollement
20%	Décollement important	Décollement faible (bords uniquement)

Tableau 4 : test de traction à différente température de la buse d'extrusion

À l'inverse, à 245 °C, l'extrusion est nettement plus régulière et continue. La viscosité réduite du PLA à cette température favorise une meilleure fusion entre les cordons déposés et une pénétration plus profonde au sein de la structure textile. Le motif imprimé conserve une bonne netteté tout en présentant une homogénéité supérieure. L'adhésion est renforcée : lors des tests de grattage, le polymère résiste mieux à l'arrachement, et lors des sollicitations mécaniques en

traction ou en flexion, la structure reste stable sans décollement prématuré. De plus, l'élasticité observée est meilleure, le motif accompagnant les déformations du textile au lieu de s'en séparer.

Paramètre étudié	230 °C	245 °C
Netteté du motif	Bonne (équivalente)	Bonne (équivalente)
Continuité d'extrusion	Interruptions plus fréquentes	Extrusion régulière et continue
Adhérence (visuelle + pratique)	Faible	Bonne
Test de grattage	Décollement facile	Résiste mieux
Test de souplesse	Décollage partiel	Bonne tenue
Résistance à la traction	Faible	Plus élevée
Élasticité du motif sur textile	Limitée	Correcte

Tableau 5 : Résultats de l'influence de la température de buse d'extrusion

Ces résultats montrent que l'augmentation de la température de buse de 230 °C à 245 °C améliore significativement la qualité de l'impression 3D sur textile. La fluidité accrue du filament à plus haute température permet une meilleure pénétration du PLA dans les mailles du tricot, ce qui renforce l'adhérence et réduit les risques de décollement. À 230 °C, le filament reste trop visqueux, ce qui limite son interaction avec les fibres et explique les défaillances observées. Ainsi, 245 °C apparaît comme une condition plus adaptée pour garantir une adhésion solide et homogène sur textile.

4.4. Influence de la température du plateau

La température du plateau constitue un paramètre important en impression 3D sur textile, car elle influence la capacité du filament à rester en contact avec le support et à se répartir uniformément lors du dépôt. Pour cette étude, deux températures de plateau ont été comparées : 65 °C et 80 °C, tandis que les autres paramètres d'impression ont été maintenus constants : température de buse 245 °C, hauteur de buse 0,5 mm, largeur de ligne 2 mm, vitesse 25 mm/s et épaisseur de couche 0,2 mm.

L'ensemble des observations qualitatives montre que les résultats sont globalement équivalents pour les deux températures. La netteté du motif, l'homogénéité de l'extrusion, l'adhérence au textile, la souplesse et la résistance aux tests de traction restent très proches. Les tests de traction appliqués sur des allongements de 10 %, 15 % et 20 % montrent des performances identiques pour les deux températures : aucun décollement ou fissuration significative n'a été observé sur le tricot de coton, ce qui confirme que la résistance mécanique du motif reste stable.

Cependant, une légère différence peut être notée au niveau de la pénétration du filament dans le textile. Lorsque le plateau est chauffé à 80 °C, le PLA adhère un peu mieux aux fibres, ce qui se traduit par un aspect légèrement plus fin, régulier et visuellement qualitatif du motif. Cette amélioration subtile permet de renforcer la cohésion locale du filament avec le textile sans modifier la souplesse ni l'adhérence globale.

Il est important de noter qu'il est déconseillé d'utiliser des températures de plateau plus élevées, car cela pourrait endommager la surface du coton et, à long terme, compromettre le fonctionnement de l'imprimante.

En conclusion, l'augmentation de la température du plateau de 65 °C à 80 °C n'entraîne pas de changement significatif sur la netteté, la résistance mécanique ou l'adhérence globale du motif, mais elle améliore légèrement l'aspect visuel et la pénétration du filament dans le textile. Pour cette raison, la température de 80 °C est conservée dans les réglages optimaux afin de garantir un rendu esthétique de qualité tout en restant sécurisée pour le textile et l'imprimante.

4.5. Influence de la hauteur de buse

La hauteur de buse constitue un paramètre fondamental en impression 3D sur textile, car elle détermine la distance entre la buse et la surface de l'étoffe, influençant directement la manière dont le filament est déposé et s'intègre dans la structure du tissu. Cette distance contrôle non seulement l'adhérence initiale du filament mais aussi sa capacité à se répartir uniformément sur le textile, à épouser la topographie de la maille et à résister aux sollicitations mécaniques. Pour cette étude, deux hauteurs de buse ont été comparées : 0,5 mm et 1,2 mm. Ces valeurs ont été choisies en fonction de l'épaisseur du tricot de coton utilisé et de la nécessité d'adapter le flux de filament à la densité et à la pilosité de l'étoffe. Les autres paramètres d'impression ont été maintenus constants : température du plateau à 80 °C, température de buse à 245 °C, largeur de ligne de 2 mm, vitesse de déplacement de 25 mm/s et épaisseur de couche de 0,2 mm.

Les observations révèlent que la hauteur de buse influence de manière significative la qualité de l'impression sur tous les critères étudiés (Annexe 4). Lorsque la buse est réglée à 0,5 mm, le filament est suffisamment proche du textile pour pénétrer dans la maille du tricot, assurant une adhérence efficace, une homogénéité du flux et une netteté satisfaisante du motif. Le motif reste stable lors des tests de grattage et de souplesse, et résiste aux étirements de 10 à 20 % sans décollement notable. La continuité d'extrusion est bonne, avec un dépôt uniforme de matière sur l'ensemble de la surface textile.

En revanche, avec une hauteur de buse de 1,2 mm, le filament se dépose trop loin de la surface, ce qui réduit considérablement sa capacité à pénétrer dans le tissu. Cette distance excessive entraîne une extrusion irrégulière, des interruptions de flux, des zones mal remplies et des contours peu nets. L'adhérence au textile est fortement compromise : le motif se détache facilement lors du grattage manuel, se soulève dès de faibles sollicitations de souplesse, et ne résiste pas aux tests de traction et d'élasticité. La régularité du motif et la continuité de l'extrusion sont globalement dégradées, rendant l'impression peu fonctionnelle pour des applications nécessitant une intégration mécanique et esthétique du motif.

Critère	Hauteur buse 0,5 mm	Hauteur buse 1,2 mm
Netteté du motif	Bonne, contours nets et précis	Mauvaise, contours irréguliers et flous
Continuité d'extrusion	Flux homogène, pas d'interruptions	Flux irrégulier, interruptions fréquentes
Adhérence (visuelle + pratique)	Très bonne, filament bien intégré dans le tricot	Très faible, filament se détache facilement
Test de grattage	Aucun décollement notable	Décollement complet au simple passage du doigt
Test de souplesse	Motif suit le tissu, reste cohérent	Motif se détache immédiatement lors de l'étirement
Résistance à la traction	Aucun décollement à 10/15%, faible à 20%	Décollement important dès 10%, totalement à 20%
Élasticité du motif sur textile	Maintenue, motif suit les déformations	Très faible, motif rigide et se décolle

Tableau 6 : Résultats de l'influence de la hauteur de la buse

Ces résultats mettent en évidence l'importance cruciale d'un réglage précis de la hauteur de buse en fonction de l'épaisseur et de la nature du textile. Une buse trop haute empêche le filament de s'intégrer correctement à la maille, réduisant l'adhérence et la qualité globale du motif, tandis qu'une hauteur appropriée permet d'optimiser à la fois la netteté, la cohésion mécanique et la durabilité de l'impression sur tissu. Pour chaque type de textile, il est donc essentiel d'adapter la distance buse-textile afin d'assurer un dépôt optimal du filament et un motif stable et fonctionnel.

4.6. Influence de l'épaisseur de l'impression

L'épaisseur de couche constitue un paramètre clé en impression 3D sur textile, car elle détermine le volume de filament déposé à chaque passage de la buse et influence directement la souplesse, l'adhérence et la netteté du motif. Pour cette étude, deux épaisseurs de couche ont été comparées : 0,1 mm et 0,5 mm. Les autres paramètres d'impression ont été maintenus constants : température de plateau 80 °C, température de buse 245 °C, largeur de ligne 2 mm, vitesse de 25 mm/s et hauteur de buse 0,5 mm.

Les observations montrent que l'épaisseur de couche a un impact significatif sur la qualité de l'impression. Avec une couche fine de 0,1 mm, le filament s'intègre correctement dans le tricot, assurant une bonne adhérence et une continuité homogène du flux d'extrusion. La netteté du motif est élevée, les contours sont précis, et le motif conserve une certaine souplesse et élasticité lors des tests d'étirement, avec aucun décollement jusqu'à 20 % d'allongement.

En revanche, avec une épaisseur de couche de 0,5 mm, le motif devient trop rigide et peu adaptable à la déformation du textile (Annexe 5). La netteté se dégrade, l'aspect visuel du motif est moins précis et la couleur paraît moins homogène. L'adhérence est fortement compromise : le motif se décolle facilement lors du grattage manuel et se détache totalement dès 15 % d'étirement. La continuité d'extrusion reste correcte mais la surépaisseur génère une rigidité

excessive, éliminant toute souplesse et élasticité et limitant considérablement l'intégration du filament dans la maille du tricot.

Ces résultats soulignent l'importance de choisir une épaisseur de couche adaptée à la structure textile. Une couche trop épaisse entraîne un motif rigide, difficilement adhérent et peu esthétique, tandis qu'une couche fine permet un dépôt homogène, un motif précis et une bonne intégration mécanique sur le tissu. Pour les textiles souples comme le tricot de coton utilisé ici, une faible épaisseur de couche est donc préférable afin de conserver souplesse, adhérence et netteté.

Paramètre testé	0,1 mm	0,5 mm
Netteté du motif	Bonne	Mauvaise
Continuité d'extrusion	Bonne	Correcte
Adhérence (visuelle + pratique)	Bonne	Très faible
Test de grattage	Aucun décollement	Décollement facile
Test de souplesse	Bonne	Nulle
Résistance à la traction	Stable jusqu'à 20 %	Décollement complet à 15 %
Élasticité du motif sur textile	Bonne	Nulle

Tableau 7 : Résultats de l'influence de l'épaisseur de l'impression

L'épaisseur de couche influence fortement la rigidité et l'intégration du motif sur textile. Une couche fine de 0,1 mm permet une bonne pénétration du filament dans le tricot, garantissant netteté, adhérence, souplesse et résistance mécanique. En revanche, une couche épaisse de 0,5 mm crée un motif rigide, qui se décolle facilement lors du grattage et de l'étirement et perd toute élasticité. Pour des textiles souples comme le tricot de coton, l'utilisation d'une faible épaisseur de couche est donc recommandée afin d'optimiser à la fois la qualité esthétique et la performance mécanique du motif imprimé.

4.7. Influence de la vitesse d'impressions

La vitesse d'impression est un paramètre essentiel en impression 3D sur textile, car elle détermine le temps de dépôt du filament et son interaction avec la structure du tissu. Pour cette étude, deux vitesses ont été comparées : 25 mm/s et 15 mm/s, tandis que les autres paramètres restaient constants : température de plateau 80 °C, température de buse 245 °C, largeur de ligne 2 mm, hauteur de buse 0,5 mm et épaisseur de couche 0,2 mm.

Les observations montrent que la vitesse affecte principalement la régularité du flux d'extrusion et l'adhérence du filament au textile. À 25 mm/s, le flux d'extrusion est irrégulier, ce qui entraîne un dépôt incomplet et une pénétration insuffisante du filament dans le tricot. En conséquence, l'adhérence est faible, le motif se décolle facilement lors du grattage et des tests de souplesse, et la résistance à la traction ainsi que l'élasticité sont très limitées. À 15 mm/s, la régularité du flux est nettement améliorée, permettant un dépôt continu et homogène. Cependant, la vitesse plus lente augmente le temps d'exposition du textile à la chaleur du filament, ce qui provoque une

légère dégradation de la surface et des variations de teinte, réduisant ainsi la netteté globale du motif. L'adhérence et la résistance mécanique sont meilleures qu'à 25 mm/s, mais la déformation thermique du tissu impose une limite à l'optimisation de la vitesse (Annexe 6).

Ces résultats montrent qu'il existe un compromis entre régularité du dépôt et préservation du textile : une vitesse trop rapide entraîne un mauvais ancrage du filament, tandis qu'une vitesse trop lente améliore le flux mais détériore légèrement la surface du textile.

Critère	Vitesse 25 mm/s	Vitesse 15 mm/s
Netteté du motif	Moyenne, contours corrects mais irrégularités	Moyenne-bonne, légère dégradation couleur à cause de la chaleur
Continuité d'extrusion	Très mauvaise, interruptions fréquentes	Très bonne, flux homogène
Adhérence (visuelle + pratique)	Très faible, motif se décolle facilement	Bonne, motif reste globalement fixé
Test de grattage	Décollage complet au simple passage du doigt	Décollage limité, mais résistant à un grattage léger
Test de souplesse	Motif se détache dès le moindre étirement	Motif suit mieux les déformations, léger décollage aux fortes sollicitations
Résistance à la traction	Très faible, décollement total à faible étirement	Bonne, aucun décollement à 10 et 15 % d'allongement, faible à 20 %
Élasticité du motif sur textile	Nulle, motif rigide et fragile	Bonne, motif conserve son intégrité sous déformations modérées

Tableau 8 : Résultats de la vitesse d'impression

La vitesse d'impression influence fortement l'intégration du filament dans le textile. Une vitesse élevée (25 mm/s) compromet l'adhérence et la résistance mécanique du motif, car le matériau n'a pas le temps de pénétrer correctement dans le tissu. Une vitesse plus lente (15 mm/s) améliore la continuité et l'homogénéité de l'extrusion, ainsi que la résistance aux sollicitations mécaniques, mais elle peut légèrement altérer la netteté du motif à cause d'un échauffement local du textile. Pour un compromis optimal, il est conseillé de privilégier des vitesses modérées, assurant un bon ancrage du filament tout en limitant l'impact thermique sur le textile.

4.8. Résistance au lavage

Les essais de lavage ont permis d'évaluer la tenue des motifs imprimés sur différents types de textiles en fonction des paramètres d'impression précédemment étudiés, incluant la température de la buse (230 °C et 245 °C), la température du plateau (80 °C), la hauteur de buse (0,5 mm à 1,2 mm), l'épaisseur de couche (0,1 mm à 0,5 mm), la largeur de ligne (2 mm) et la vitesse d'impression (15 mm/s à 25 mm/s). L'objectif était de relier les performances des impressions avant lavage aux observations post-lavage et d'analyser les interactions entre le filament PLA et la structure textile (Annexe 7).

Les résultats montrent une distinction claire selon le type de support. Sur la toile de coton à armure serrée, où l'adhérence initiale était déjà très faible, le lavage a provoqué un décollement complet du motif. Cette surface non poreuse et dépourvue de pilosité n'a pas permis au filament de s'ancrer dans la structure textile. Même avec des conditions optimales de température de buse (245 °C) et de plateau (80 °C), ainsi qu'une hauteur de buse adaptée à l'épaisseur du textile, le PLA ne pénètre pas dans la trame de la toile, ce qui rend l'impression totalement instable. Le motif s'est détaché intégralement dès le début du lavage, confirmant que les tests de grattage et de traction initiaux prédisent la tenue post-lavage.

Pour les impressions sur tricot de coton, les résultats varient en fonction de l'adhérence initiale obtenue avant lavage. Les motifs présentant une adhérence satisfaisante avant lavage, obtenus avec une buse à 0,5 mm, une température de buse de 245 °C, une largeur de ligne de 2 mm et une vitesse modérée de 25 mm/s, ont conservé leur intégrité après lavage. La netteté du motif, la continuité de l'extrusion, la résistance au grattage et la tenue à l'étirement jusqu'à 20–30 % ont été maintenues, illustrant la stabilité mécanique du PLA sur un support textile souple et duveteux. Ces résultats confirment que la pénétration du filament dans les mailles du tricot est essentielle pour résister aux sollicitations générées par le lavage.

En revanche, les impressions présentant un décollement partiel avant lavage, telles que celles réalisées avec une buse plus haute (1,2 mm) ou une épaisseur de couche importante (0,5 mm), ont vu leurs défauts s'accroître. L'extrusion irrégulière et le manque de pénétration du filament favorisent le détachement progressif du motif, avec des zones qui se détachent complètement sous l'effet du mouvement et de l'humidité, comme confirmé par les tests de souplesse et de traction. Même la netteté des contours et la continuité de l'extrusion, bien qu'acceptables avant lavage, sont altérées, ce qui réduit l'aspect esthétique et la fonctionnalité du motif.

La température de la buse joue également un rôle sur la résistance au lavage. Les motifs imprimés à 230 °C présentaient déjà une adhérence moindre et des interruptions dans l'extrusion ; après lavage, ces défauts ont été amplifiés, conduisant à des décollements partiels à faibles sollicitations mécaniques. À 245 °C, l'adhérence initiale étant plus élevée, le motif reste majoritairement intact après lavage, avec uniquement de faibles détachements ponctuels aux extrémités lors de sollicitations mécaniques extrêmes.

Enfin, la vitesse d'impression et l'épaisseur de couche influencent aussi la tenue post-lavage. Les impressions réalisées à 25 mm/s, malgré une bonne netteté visuelle, présentaient un flux moins pénétrant dans le textile, ce qui a favorisé le décollement après lavage. Les impressions à 15 mm/s, avec un dépôt plus régulier mais un risque de surchauffe localisée, ont mieux résisté mécaniquement mais ont présenté un aspect légèrement altéré sur le plan visuel. L'épaisseur de couche trop importante (0,5 mm) rend le motif rigide et facilite le détachement dès que le textile est étiré ou sollicité lors du lavage.

En conclusion, le test de lavage confirme que la performance de l'impression 3D sur textile dépend fortement de la combinaison de plusieurs paramètres : la nature du textile, la hauteur de buse adaptée à l'épaisseur de l'étoffe, la température de buse permettant une bonne pénétration du filament, la vitesse d'impression et l'épaisseur de couche. Les motifs présentant déjà des défaillances avant lavage voient leurs défauts accentués, tandis que ceux avec une adhérence optimale sur tricot de coton restent stables, démontrant la nécessité d'un contrôle précis des conditions d'impression pour assurer une résistance durable sur textile.

5. Conclusion et perspectives

Les essais réalisés dans le cadre de ce projet ont permis d'évaluer la faisabilité et la robustesse de l'impression 3D directe sur textile, en particulier sur un tricot de coton. Après plusieurs phases d'expérimentation, les résultats démontrent que l'association entre PLA et tricot coton à légère pilosité constitue une solution efficace et prometteuse, avec des performances proches de procédés industriels comme le flocage textile.

En effet, lorsque les paramètres d'impression sont bien maîtrisés, l'adhérence entre le polymère fondu et le textile est à la fois ferme et souple, avec une surépaisseur modérée, peu perceptible au toucher, tout en restant résistante aux sollicitations mécaniques modérées et au lavage à 60 °C avec lessive standard. L'absence de déformation du tissu et le maintien dimensionnel des motifs après lavage traduisent une excellente compatibilité entre le matériau imprimé et le support textile.

Ce bon comportement s'explique par plusieurs facteurs clés :

- La nature du textile : le tricot présente une structure extensible et une légère pilosité, ce qui favorise l'ancrage mécanique du filament PLA lors de la fusion. Cette pilosité agit comme un relief qui augmente la surface de contact entre le polymère et les fibres.
- Le bon positionnement du textile sur le plateau : les meilleurs résultats ont été obtenus en positionnant le tissu sans tension, bien à plat, afin d'éviter tout retrait, plissement ou décollement ultérieur.

Paramètre	Valeur optimisée	Justification scientifique
Hauteur de buse	+0,05 mm	Permet le passage du textile sans collision, tout en maintenant une pression suffisante pour ancrer le filament dans les fibres.
Température de buse	245 °C	Température standard pour le PLA, garantissant une fluidité homogène et une bonne fusion, sans dégradation thermique du textile.
Température du plateau	85 °C	Favorise un échauffement modéré du textile, améliorant la diffusion et l'adhésion du polymère fondu, tout en évitant la déformation des fibres.
Hauteur de couche	0,1 mm	Offre un dépôt fin et contrôlé, assurant netteté et homogénéité du motif, avec une meilleure adhérence inter-couches.
Largeur d'extrusion	0,2 mm	Garantit un recouvrement régulier entre les lignes extrudées, limitant les discontinuités et évitant un excès de matière.
Vitesse d'impression	15 mm/s	Favorise la précision de l'extrusion et une imprégnation optimale du PLA dans le textile, contrairement aux vitesses plus élevées qui réduisent l'ancrage.

L'impression ainsi obtenue présente des caractéristiques mécaniques similaires à un flocage textile classique (Annexe 8) : légère surépaisseur, bonne souplesse, mais également une fragilité en cas d'étirement important ou de pliage forcé. Cela en fait une solution adaptée aux surfaces peu sollicitées ou à des applications décoratives semi-structurales.

Enfin, les tests de lavage à 60 °C, suivis d'un séchage à l'air libre, ont permis de confirmer la bonne tenue du motif imprimé, en particulier à partir de la 3e impression sur tricot. À noter que les premières impressions souffraient de légers décollements, probablement liés à un positionnement imparfait du tissu ou à des conditions d'impression non encore optimisées.

En comparaison, l'impression sur toile de coton s'est révélée totalement inefficace dans les mêmes conditions, avec un décollement total du motif dès le premier lavage, ce qui met en évidence l'importance du choix du support textile pour ce type de procédé.

Ainsi, ce projet a permis de démontrer qu'il est tout à fait envisageable d'intégrer l'impression 3D sur textile dans un processus semi-industriel, sous réserve d'un choix rigoureux des matériaux, d'un réglage précis des paramètres, et d'un contrôle minutieux de la mise en place du support.

Au-delà des résultats obtenus dans le cadre de ce projet, l'impression 3D sur textile constitue une voie d'exploration particulièrement prometteuse, tant sur le plan technique qu'applicatif. Elle permet d'imaginer de nouvelles interactions entre matériaux souples et rigides, en exploitant les propriétés complémentaires du textile (flexibilité, respirabilité, légèreté) et des polymères thermoplastiques (structure, résistance, fonctionnalité). Cette synergie ouvre la porte à une nouvelle génération de produits hybrides, où la matière n'est plus seulement support, mais devient un acteur actif de la performance, du design et de la fonctionnalité.

De nombreux axes d'étude restent encore à explorer. Il serait notamment pertinent d'étendre ces travaux à d'autres types de polymères, comme les matériaux souples de type TPU ou les bioplastiques, afin d'évaluer leur comportement sur différentes étoffes et leurs capacités d'adhérence, de souplesse et de durabilité. De même, l'étude de structures textiles plus techniques, comme les tissus tissés en armures complexes, les non-tissés ou les textiles fonctionnels, pourrait permettre de mieux comprendre les facteurs influençant l'ancrage et la résistance à long terme de l'impression.

Par ailleurs, la question du vieillissement dans le temps, sous l'effet de lavages répétés, d'expositions aux UV, de frottements ou de sollicitations mécaniques, représente un enjeu essentiel pour envisager une application industrielle. L'étude de la dégradation, au même titre que celle menée pour les flocages traditionnels, permettrait de positionner plus précisément cette technologie en termes de fiabilité et de durabilité.

Sur le plan applicatif, les perspectives sont vastes. Dans le domaine du sport, l'impression 3D sur textile pourrait permettre la création de vêtements techniques renforcés localement, d'éléments protecteurs intégrés ou encore de structures adaptatives répondant à des contraintes spécifiques de posture ou de mouvement. Dans le secteur de la mode, elle offre des possibilités inédites en matière de personnalisation, de design en relief, ou de création de pièces uniques à faible coût de production. Elle peut également s'intégrer dans des dispositifs médicaux sur mesure, des textiles intelligents, ou des objets connectés, où la frontière entre structure, confort et technologie devient de plus en plus floue.

Ainsi, ce procédé, encore émergent, dépasse largement le simple aspect décoratif. Il propose un nouveau langage de fabrication, une nouvelle manière de concevoir l'interface entre le corps, la matière et la fonction. L'impression 3D sur textile, en combinant précision numérique et richesse tactile, pourrait bien participer à façonner les matériaux souples de demain.

6. Bibliographie

Inspiration pour le sujet :

How to Create your Own T-shirt Motif with a 3D printer? In : PRUSA Research by Joseph PRUSA [en ligne]. October 8. 2021 [Consulté le 22/05/2025]. Disponible sur : https://blog.prusa3d.com/how-to-print-on-t-shirts_55588/

L'impression 3D : le futur de la mode et du textile. In : La Nouvelle Ecole [en ligne]. 24 juillet [Consulté le 22/05/2025]. Disponible sur : <https://www.nouvelleecole.fr/blog/limpression-3d-futur-mode-textile>

Recherche sur l'entreprise :

FUNCTIONAL MATERIALS LAB. In : kit [en ligne]. [Consulté le 17/06/2025]. Disponible sur : <https://www.fibro.kit.ac.jp/lab/yamada/en/index.html>

7. Annexes



Annexe 1 : Impression préliminaire



Annexe 2 : Impression sur toile de coton



Annexe 3 : Impression avec température de buse plus faible



Annexe 4 : Impression avec hauteur de buse trop élevée



Annexe 5 : Impression trop épaisse (0.5mm)



Annexe 6 : Impression avec vitesse trop rapide

Type d'échantillon / Paramètre	Netteté du motif	Adhérence (visuelle + pratique)	Test de grattage	Test de souplesse	Résistance à la traction	Élasticité du motif sur textile
Toile de coton (armure serrée)	complètement enlevé après lavage	Très faible	Décollement complet au moindre contact	Non applicable (pas élastique)	Non applicable	Non applicable
Tricot - motifs avec buse 0,5 mm, T° buse 245°C, vitesse 25 mm/s	Très bonne	Bonne	Décollement quasi nul	Motif stable	Aucune déformation jusqu'à 20%	Élastique et solidaire du textile
Tricot - buse 1,2 mm / couche 0,5 mm / T° buse 245°C	Moyenne à faible (défauts visibles)	Faible	Décollement important accentué	Motif se détache facilement	Décollement dès 15 % d'allongement	Faible, perte de cohésion avec le textile
Tricot - T° buse 230°C / hauteur 0,5 mm / vitesse 25 mm/s	Bonne	Moyenne à faible	Décollement partiel	Perte de cohésion à 20 %	Décollement progressif dès 15-20 %	Élastique mais moins stable
Tricot - vitesse 15 mm/s / T° buse 245°C / hauteur 0,5 mm	Légèrement altérée	Bonne	Décollement minimal	Motif stable	Résistant jusqu'à 20%	Élastique et solidaire
Tricot - épaisseur de couche 0,5 mm / T° buse 245°C / hauteur 0,5 mm	Moyenne	Faible	Décollement facile	Zéro souplesse	Décollement total dès 15 %	Non élastique, motif rigide

Annexe 7 : Résultats des tests au lavages



Annexe 8 : Impression avec les paramètres optimaux

Résumé – Stage d'étude : Impression 3D sur textile pour applications industrielles

Dans un contexte où l'innovation textile et les technologies d'impression additive se rencontrent, ce stage explore les potentialités de l'impression 3D directe sur tissu. L'objectif principal est d'évaluer la faisabilité, la qualité d'adhérence, la durabilité et la flexibilité de structures polymères imprimées sur différentes surfaces textiles, dans une perspective d'application industrielle (mode, sport, orthopédie...).

Après le choix d'un polymère et d'un type de textile, plusieurs paramètres ont été étudiés : température d'impression, type de tissu, géométrie des structures, ainsi que les propriétés mécaniques résultantes.

Les impressions ont été caractérisées par des tests bref de grattage, de flexion et de traction, permettant de mieux comprendre les mécanismes d'adhérence et de vieillissement. Des zones de fragilité, notamment des défauts d'extrusion et de remplissage, ont été identifiées et analysées afin d'optimiser les conditions de dépôt.

Ce travail, réalisé au sein du Kyoto Institute of Technology, met en lumière les défis techniques mais aussi les opportunités de ce procédé hybride. Il ouvre la voie à des innovations dans les domaines du design textile, de la personnalisation produit et des matériaux intelligents.

Entre artisanat numérique et performance industrielle, ce projet interroge la place de l'impression 3D dans la nouvelle génération de textiles fonctionnels et interactifs.

Summary – Research Internship: 3D Printing on Textile for Industrial Applications

In a context where textile innovation meets additive manufacturing technologies, this internship explores the potential of direct 3D printing on fabric. The main objective is to assess the feasibility, adhesion quality, durability, and flexibility of polymer structures printed onto various textile surfaces, with a focus on industrial applications (fashion, sports, orthopedics, etc.).

Following the selection of a polymer and a type of fabric, several parameters were studied: printing temperature, fabric type, geometry of the structures, and the resulting mechanical properties.

The printed samples were characterized through brief scratch, bending, and tensile tests, providing insights into adhesion mechanisms and aging behavior. Fragility zones, particularly extrusion and infill defects, were identified and analyzed in order to optimize deposition conditions.

This work, carried out at the Kyoto Institute of Technology, highlights both the technical challenges and the opportunities of this hybrid process. It paves the way for innovations in textile design, product customization, and smart materials.

Between digital craftsmanship and industrial performance, this project questions the role of 3D printing in the next generation of functional and interactive textiles.