



Au-delà du *fast fashion* : l'impression 4D pour une mode durable dans un paradoxe de dentelle

par Ariane Michaud

Mémoire présenté à l'Université du Québec à Chicoutimi en vue de l'obtention du grade de maîtrise ès art (M.A.) en art (design numérique)

Québec, Canada

© Ariane Michaud, 2026

RÉSUMÉ

Ce mémoire présente une recherche-crédation portant sur la conception d'un vêteinent en impression 4D à partir de matériaux réactifs accessibles. Le projet interroge les limites de la *fast fashion* et explore comment la fabrication numérique à petite échelle peut offrir une alternative durable et adaptable. L'impression 4D, en incorporant les dimensions temporelles directement dans l'ensemble de ses composantes, est abordée comme un moyen de créer des vêtements capables d'évoluer au contact de stimuli, tels que la chaleur ou les rayons UV, tout en demeurant accessibles à des créateurs indépendants grâce à l'utilisation d'imprimantes domestiques et de polymères disponibles sur le marché.

Inspiré par la philosophie du *do it yourself* (DIY), la démarche méthodologique repose sur une approche itérative basée sur le prototypage et sur la méthode des cycles heuristiques selon Louis-Claude Paquin. Axée sur une approche de prototypage, la compréhension émerge de la pratique, de l'essai et de l'erreur, ainsi que de l'observation des réactions matérielles. Cette approche permet d'articuler expérimentation formelle, analyse critique et réflexion théorique autour des notions de durabilité, de modularité et de temporalité. Les prototypes développés ont permis d'évaluer la réactivité des matériaux, de tester des structures modulaires et de concevoir un vêtement réactif qui change d'apparence selon l'environnement.

La recherche met en lumière le potentiel de l'impression 4D comme outil de création dans le domaine vestimentaire. Elle propose une vision où les vêtements ne sont plus des objets fixes, mais des entités évolutives capables de s'adapter à leur porteur et à leur milieu. Le vêtement final agit comme un objet-manifeste qui illustre une forme de durabilité sensible fondée sur la transformation, la personnalisation et la réutilisation.

Malgré les limites liées à l'accessibilité des matériaux et aux capacités des imprimantes domestiques, les résultats montrent que l'impression 4D peut enrichir les pratiques de création textile. Cette recherche ouvre la voie à des approches plus responsables et exploratoires, où la fabrication numérique devient un espace d'innovation poétique et accessible.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	ii
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	vi
DÉDICACE.....	vii
REMERCIEMENTS.....	viii
AVANT-PROPOS.....	ix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1.....	4
PROBLÉMATIQUE.....	4
1.1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE.....	4
1.2 GENÈSE DU PROJET.....	6
1.3 PROBLÉMATIQUE.....	7
1.4 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES.....	8
1.5 PORTÉE DE MON PROJET.....	9
1.6 LIMITES DE MON PROJET.....	9
1.7 PERTINENCE DANS LE CHAMP DE RECHERCHE.....	9
CHAPITRE 2.....	11
ÉTAT DE L'ART ET RÉFÉRENCE CRÉATIVES.....	11
2.1 ENTRE CYCLES ACCÉLÉRÉS ET MATIÈRE RÉACTIVE : CADRE CONCEPTUEL.....	11
2.2 LA MATIÈRE COMME LIEU DE PENSÉE : MODE, TRANSFORMATION ET FABRICATION NUMÉRIQUE.....	14
2.3 DÉMARCHES ARTISTIQUES ET PRATIQUES DE CRÉATION CONTEMPORAINES.....	18
2.3.1 LE VÊTEMENT MODULAIRE ET LA FABRICATION ADDITIVE.....	18
2.3.2 RÉACTIVITE, SENSIBILITÉ ET TRANSFORMATION DU VÊTEMENT.....	21
2.3.3 MATIÈRE VIVANTE, CALCUL ET FORMES GÉNÉRÉES.....	24
2.4 LIMITES, TENSIONS ET ANGLES MORTS DES PRATIQUES ACTUELLES.....	27
CHAPITRE 3.....	29
MÉTHODOLOGIE.....	29
3.1 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE-CRÉATION : POSITIONNEMENT.....	29
3.2 MOYENS ET MÉTHODES POUR ATTEINDRE LES OBJECTIFS.....	31
3.2.1 MÉTHODES : PRATIQUE COMME CRÉATION, CYCLES HEURISTIQUES ET APPROCHE ITÉRATIVE.....	31
3.2.2 DOCUMENTATION DU PROCESSUS : JOURNAL DE BORD, CAPTATIONS ET ESQUISSES.....	32
3.2.3 OUTILS, LOGICIELS ET MÉDIUMS MOBILISÉS.....	32
3.3 CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES ET ÉPISTÉMOLOGIQUES.....	33
CHAPITRE 4.....	35
PRÉSENTATION DES CRÉATIONS ET RÉSULTATS.....	35
4.1 DESCRIPTION DE L'ŒUVRE ET PROTOTYPES RÉALISÉS.....	35
4.1.1 EXPLORATIONS, RECHERCHES ET LISTE DES CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX.....	35
4.1.2 ÉTUDE DES PROTOTYPES EXISTANTS ET TRANSFORMATIONS APPORTÉES.....	38
4.1.3 ASSEMBLAGE ET INTERCONNEXION DES MATÉRIAUX.....	44

4.1.4 EXPLORATIONS 4D	49
4.1.5 PROJET FINAL.....	52
4.1.6 L'ŒUVRE : PARADOXE DE DENTELLE	57
4.2 DÉRIVES	58
4.3 LIEN ENTRE LES RÉSULTATS ET LA QUESTION DE RECHERCHE	61
CHAPITRE 5.....	62
DISCUSSION ET ANALYSE RÉFLEXIVE.....	62
5.1 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS À TRAVERS LE PRISME DE LA CRÉATION ...	62
5.2 RÉPONSES APPORTÉES À LA PROBLÉMATIQUE PAR L'ACTE CRÉATIF	63
5.2.1 L'APPORT CONCRÈT DE L'ACTE CRÉATIF	64
5.2.2 DIMENSION SYMBOLIQUE ET RÉFLEXIVE	64
5.3 MISE EN DIALOGUE AVEC LES CADRES THÉORIQUES ET CONCEPTUEL	66
5.3.1 L'OBSOLESCENCE EN RÉFLEXION	68
5.3.2 TEMPORALITÉ DE LA MATÉRIALITÉ.....	68
5.3.3 DURABILITÉ.....	69
5.4 BIFURCATIONS OU DÉCOUVERTES EN COURS DE PROJET	70
5.4.1 PROJET PARALLÈLE POUR LES PRINCIPES D'ASSEMBLAGES EN IMPRESSION 4D.....	70
5.4.2 EXPÉRIENCES VÉCUES OU PROVOQUÉES PAR L'ŒUVRE.....	71
5.5 APPORTS SPÉCIFIQUES DE LA RECHERCHE-CRÉATION.....	72
5.6 LIMITES ET PERSPECTIVES.....	74
5.6.1 LIMITES	74
5.6.2 PERSPECTIVES	75
CONCLUSION	77
LISTE DE RÉFÉRENCES.....	79
ANNEXE I	83

LISTE DES FIGURES

Les images présentées dans ce mémoire proviennent des sites officiels des artistes et sont utilisées à des fins d'analyse critique dans un contexte académique. Leur reproduction s'inscrit dans le cadre de l'utilisation équitable prévue par la Loi sur le droit d'auteur.

Figure 1 : Skylar Tibbits Au MIT Self-Assembly Lab, <i>MIT Chain 4d Printing</i> , 2014.....	16
Figure 2 : Brigitte Kock, <i>Vêtements Imprimés En 3d En Biomatériaux Compostables</i> , 2024.....	19
Figure 3 : Iris Van Herpen, <i>Voltage</i> , 2012.....	20
Figure 4 : Ying Gao, <i>Incertitudes</i> , 2013.....	21
Figure 5 : Lauren Bowker (<i>The Unseen</i>), <i>Seeing The Unseen</i> , 2014.....	22
Figure 6 : Clara Daguin, <i>Starlink</i> , 2024.....	23
Figure 7 : Neri Oxman, <i>Wanderers</i> , 2025.....	24
Figure 8 : Julia Körner, <i>Setae</i> , 2019.....	25
Figure 9 : Studio Xo. <i>Projet De Mode Technologique Et Performance Scénique</i> . 2014.....	26
Figure 10 : Recherche Des Matériaux, 2024.....	36
Figure 11 : Recherche De Matériaux Tpu, 2024.....	37
Figure 12 : Prototypes Oranges En Cottes De Maille, 2024.....	39
Figure 13 : Prototypes Verts En Impression <i>Print-In-Place</i> , 2024.....	40
Figure 14 : Prototypes Jaunes Ressemblant De La Dentelle, 2024.....	40
Figure 15 : Prototype De Beigne, 2024.....	42
Figure 16 : Prototype De Bouton De Chemise En Tpu, 2024.....	42
Figure 17 : Prototypes Auxétiques, 2024.....	43
Figure 18 : Prototype Tpu, Sans Bouton, 2024.....	44
Figure 19 : Prototype Tpu, Mauvaise Adhésion Et Qualité De La Matière, 2024.....	45
Figure 20 : Prototypes Tpu, 2024.....	45
Figure 21 : Attache En Forme De +, Pièce Supérieure, 2024.....	46
Figure 22 : Croquis Initiaux Du Vêtement En Couleur, 2024.....	47
Figure 23 : Croquis Du Haut Du Corps Du Vêtement Non Finaux, 2024.....	48
Figure 24 : Modèle Réduit Et Croquis Du Projet Final, 2024.....	49
Figure 25 : Prototypes De Pla Réactif Aux Rayons UV Et La Chaleur, 2024.....	51
Figure 26 : Plis Non Controlé Sur Le Pla Réactif, 2024.....	51
Figure 27 : Projet Final, Pièces Inférieures En Tpu, 2024.....	52
Figure 28 : Version 2 Des Pièces En Tpu Du Projet Final, 2024.....	53
Figure 29 : Projet Final, Pièces Supérieures En Pla Réactifs Attachées Sur Le Tpu, 2024.....	54
Figure 30 : Assemblage Du Projet Final, Section En Tpu, 2024.....	55
Figure 31 : Projet Final Assemblé, Vue De Face Et Arrière, 2025.....	56
Figure 32 : Projet Final Assemblé, Vue Arriere Active Par Lumière UV, 2025.....	56
Figure 33 : Dérive 1, Attache Tige-Trou, 2024.....	58
Figure 34 : Dérive 2, Attache Et Pliage À La Chaleur, 2024.....	59
Figure 35 : Dérive 3, Assemblage Sphérique, 2024.....	60
Figure 36 : Dérive 4, Chaleur Et Rayons UV - Rose/Fleur, 2024.....	60
Figure 37 : Dérive 4, Chaleur Et Rayons UV – Orchidée, 2024.....	61

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ASA - Acrylonitrile Styrene Acrylate – type de filament
Thermoplastique résistant aux UV et aux intempéries. Excellent pour les impressions destinées à l'extérieur (robuste, stable, bonne tenue aux UV).

ABS - Acrylonitrile Butadiène Styrene - type de filament
Plastique technique robuste, résistant aux chocs et à la chaleur. Utilisé pour des pièces fonctionnelles. Plus difficile à imprimer (gondolage, besoin d'enceinte).

AMS - Automatic Material System - machine (l'AMS de Bambu Lab)
Système automatique de gestion de matériaux pour imprimantes 3D (multi-couleurs ou multi-matériaux), permettant le changement automatique de filament.

CoPA - Copolyamide (Nylon renforcé) - type de filament
Polyamide technique (mélange de PA6/PA66 selon variants). Excellente résistance mécanique, thermique et chimique. Idéal pour pièces fonctionnelles exigeantes.

FDM - Fused Deposition Modeling – type d'impression
Procédé d'impression 3D par extrusion d'un filament thermoplastique chauffé et déposé couche par couche pour créer un objet. Le matériau fond, est extrudé par une buse, puis se solidifie immédiatement, permettant la construction additive de formes complexes.

PA - Polyamide (Nylon) - type de filament
Très résistant aux chocs, flexible, durable. Absorbe l'humidité. Utilisé pour des pièces techniques nécessitant solidité et endurance.

PC - Polycarbonate - type de filament
Très haute résistance aux chocs et à la température. Matériau rigide, exigeant à imprimer. Idéal pour pièces structurelles.

PETG - Polyethylene Terephthalate Glycol - type de filament
Combinaison de solidité et facilité d'impression. Plus résistant que le PLA, moins technique que l'ABS. Transparent possible.

PIP - Print-in-Place – technique de modélisation
Technique de modélisation et d'impression 3D qui permet de produire en une seule impression des objets comportant des pièces mobiles intégrées (rotations, charnières, engrenages). Les mécanismes sont conçus avec des tolérances internes afin qu'ils soient fonctionnels immédiatement, sans assemblage post-impression.

PLA - Polylactic Acid (Acide Polylactique) - type de filament
Matériau simple à imprimer, biodérivé. Idéal pour pièces décoratives, prototypes, objets non soumis à la chaleur.

PPS - Polyphenylene Sulfide - type de filament
Thermoplastique hautes performances, très résistant chimiquement et thermiquement. Utilisé pour des applications industrielles exigeantes.

TPU - Thermoplastic Polyurethane - type de filament
Matériau flexible et résistant à l'abrasion. Idéal pour joints, amortisseurs, semelles, objets souples.

DÉDICACE

Aux artistes multidisciplinaires qui ont des idées par milliers.

REMERCIEMENTS

Merci à Louis-Philippe Rondeau et Benoit Melançon pour leur accompagnement exceptionnel tout au long de ma maîtrise. Leur soutien constant, leurs idées stimulantes et leur passion ont nourri chacune des étapes de ce projet. Leur présence bienveillante et leur ouverture ont fait d'eux bien plus que des professeurs. Ils ont été des mentors précieux qui m'ont aidée à clarifier mes intuitions et à donner forme à des idées ambitieuses.

Merci à mon père et ma mère, qui sont des artistes à temps perdu. Ils m'ont poussé à me lancer dans les arts et les technologies dès mon jeune âge. Merci pour tout.

Merci à Gina Mori, directrice du Loisirs Ste-Béatrice, de m'avoir laissé la chance de créer, enseigner et produire toutes sortes de cours et designs pour les événements tout au long de ces années. L'enseignement des arts et technologies m'a permis d'être en constante découverte de nouvelles techniques pour un grand public.

Un grand merci à Nicole Milette, grande amie, mentore et professeure associée à l'École de Design de l'Université du Québec à Montréal. Ton amour pour l'histoire de l'art, l'architecture et le dessin m'a encouragé à continuer mes études dans mes domaines de passion. Ta joie, ta curiosité et ta persévérance à vouloir continuer à enseigner pendant la pandémie sont des qualités exceptionnelles. Ce fut et c'est toujours un grand plaisir de te soutenir avec la technologie, tout comme apprendre, mais aussi enseigner à tes côtés durant toutes ces années.

AVANT-PROPOS

Il y a plus de huit ans, l'impression 3D est entrée dans ma vie lorsque j'ai commencé mes études en Arts visuels au Cégep du Vieux Montréal. À l'époque, mon parcours se concentrait principalement sur la sculpture d'objets en bois, métal et autres matériaux que j'explorais en cours pratique. Curieuse et passionnée par l'expérimentation, je me suis toujours efforcée d'essayer toutes les machines disponibles dans les ateliers de conception. Puis, une machine différente a attiré mon attention, soit l'imprimante 3D. Ne connaissant presque rien de la modélisation 3D sur ordinateur à ce moment-là, j'ai commencé à apprendre plusieurs logiciels, perfectionnant mes compétences au fil du temps. En combinant mes connaissances et artisanats traditionnels avec cette nouvelle technologie, j'ai poursuivi mes études en Design de l'environnement. C'est là que l'impression 3D, ainsi que d'autres machines, sont devenues des outils essentiels pour la conception de prototypes d'objets et de maquettes architecturales.

Grâce à cette formation, j'ai acquis une expertise solide dans la création de prototypes d'assemblages mécaniques. Une fois que j'ai terminé mon premier cycle d'études, j'ai eu envie de poursuivre mes expériences et de créer des prototypes. C'est ainsi que j'ai aménagé mon propre atelier chez moi, équipé de machines et d'outils abordables. Au fil de temps, mon intérêt pour la démocratisation de l'accès à la technologie a grandi. Je voulais comprendre comment rendre ces outils accessibles au-delà des laboratoires spécialisés. C'est dans cette démarche que j'ai découvert l'impression 4D et toutes les possibilités qu'elle pouvait offrir, ouvrant une nouvelle dimension dans mon travail et mes recherches. L'impression 4D consiste à intégrer une dimension temporelle à l'impression 3D conventionnelle. L'objet ainsi produit est conçu pour évoluer dans le temps en réponse à différents stimuli, grâce à l'utilisation de matériaux intelligents. Ces transformations peuvent être déclenchées par des facteurs environnementaux tels que la lumière ou la température, mais aussi par le comportement de l'utilisateur ou, dans certains cas, par l'analyse de signaux physiologiques.

Je suis une artiste multidisciplinaire traditionnelle et numérique qui combine les deux univers dans ses projets. Je crée des œuvres d'art, allant du dessin à la peinture et à la sculpture, tant sur papier qu'à l'aide d'un ordinateur, d'un iPad ou d'une tablette graphique. Je fais aussi de l'art créatif, souvent classé comme artisanat. Je fais de la broderie, du crochet, de la couture et de l'altération de mes vêtements depuis que je suis adolescente. Au fil du temps, j'ai combiné le tout pour en faire ma passion.

INTRODUCTION

Mon mémoire se situe à la rencontre de la mode, de la fabrication numérique, additive et des matériaux réactifs. Mon projet explore le potentiel de l'impression 4D, une évolution de l'impression 3D qui ajoute la dimension du temps en permettant aux matériaux de changer de forme en réponse à leur environnement. Cette technologie ouvre la possibilité de concevoir des vêtements adaptatifs qui réagissent à la chaleur, à la lumière ou à d'autres stimuli. Elle sert ici, dans ma recherche, à proposer une alternative aux pratiques rapides, éphémères et polluantes du prêt-à-porter.

L'impression 3D a déjà transformé la manière de créer en facilitant la fabrication d'objets personnalisés et le prototypage à petite échelle. L'impression 4D poursuit cette logique avec des matériaux programmables capables de se transformer après leur fabrication. Cette transformation m'a conduite à envisager le vêtement comme une structure vivante, non plus figé, mais sensible à l'environnement. Le vêtement devient alors un objet évolutif, capable de s'adapter au corps et à son usage.

Le projet est né de ma pratique personnelle et de ma recherche d'une manière plus sensible et durable de concevoir les vêtements. L'impression 3D m'a permis d'expérimenter la matière par l'essai, la répétition et l'ajustement. Lorsque j'ai découvert l'impression 4D, j'ai été fascinée par sa capacité à faire réagir un matériau sans intervention mécanique ou électronique. Cette perspective a orienté ma recherche vers l'intégration de ces technologies dans une pratique créative attentive aux modes de conception et d'usage.

Je souhaitais comprendre comment cette technologie, souvent réservée aux laboratoires spécialisés, pourrait devenir accessible à un public non expert. Je voulais également analyser ce qu'elle change lorsqu'elle est intégrée à une démarche créative centrée sur la matière, le geste et l'expérience. Ma recherche s'inscrit dans un double mouvement. D'un côté, cette démarche vise à rendre l'impression 4D accessible aux créateurs indépendants, sans l'usage de technologies

avancées peu accessibles au grand public. De l'autre, c'est une volonté de repenser la manière dont les vêtements peuvent être conçus, portés et transformés.

Mon projet se distingue par son orientation vers l'accessibilité et la modularité propre aux démarches artistiques « *Do it yourself* » (DIY). En ce sens, il repose sur l'utilisation originale d'imprimantes domestiques et de matériaux réactifs disponibles sur le marché, afin que l'impression 4D puisse être expérimentée en dehors des milieux industriels spécialisés. Il cherche également à concevoir des vêtements modulaires capables de s'ajuster à différentes morphologies sans tailles préétablies. Cette modularité permet de modifier, réparer ou réassembler les pièces sans produire des objets jetables.

Dans cette perspective, la création n'est pas seulement un moyen de fabriquer un vêtement. Elle devient un processus qui interroge notre relation à l'objet, au temps et à la consommation. Le vêtement imprimé en 4D est envisagé comme une matière active et adaptable, dont les propriétés évoluent en fonction de son usage et de son environnement.

Comme mentionné précédemment, ce modèle de production vestimentaire constitue un point de départ critique pour situer la réflexion menée dans ce projet. L'impression 3D et 4D sont souvent associées à un discours d'innovation et de durabilité. Pourtant, ces technologies génèrent aussi des défis importants, notamment en ce qui concerne la gestion des déchets plastiques issus du prototypage, l'obsolescence rapide des pièces imprimées et la recyclabilité limitée des médiums.

Mon projet propose une autre manière d'utiliser ces technologies. Il explore la possibilité de créer des vêtements qui évoluent dans le temps plutôt que d'être remplacés. La durabilité n'est pas seulement abordée par l'utilisation de matériaux, mais aussi par la conception, le processus de documentation et celui de prototypage. L'attention portée aux cycles d'essais, aux gestes répétés, à la modularité et aux réactions des matériaux devient centrale. Elle est donc envisagée comme une qualité du processus et non comme une simple caractéristique matérielle.

La méthodologie repose sur l'expérimentation, l'analyse et la documentation continue. Elle s'appuie sur une approche ascendante où les connaissances émergent de l'exploration des filaments et du prototypage. Les cycles heuristiques permettent de revenir sur les essais, de reformuler les

questions et de transformer les prototypes. Un journal de bord, des captations visuelles et des séries d'échantillons assure la traçabilité du processus. Ma démarche reconnaît que la création est une source de connaissance et que la posture de chercheuse-créatrice fait partie intégrante de la construction du projet.

Mon mémoire s'articule autour des chapitres suivants. Le premier chapitre présente la problématique, le contexte, la question de recherche, les objectifs spécifiques ainsi que les limites et la portée du projet. Le deuxième chapitre constitue l'état des connaissances. Il rassemble les références créatives et artistiques, les fondements théoriques et les cadres conceptuels qui éclairent ma recherche. Le troisième chapitre décrit la méthodologie. Il décrit les cycles heuristiques, l'approche ascendante, les outils mobilisés et la posture de chercheuse-créatrice qui structure la démarche. Le quatrième chapitre présente le processus de création et les prototypes complétés. Il détaille les expérimentations, les choix de matériaux et les prototypes qui ont mené à la conception du vêtement en impression 3D et 4D. Le cinquième chapitre propose une analyse des résultats, des contributions et la discussion. Il met en lumière les apports méthodologiques, conceptuels, pratiques et interdisciplinaires de la recherche. Le mémoire se termine par une section qui regroupe la conclusion, les limites du projet et des pistes pour des travaux futurs.

CHAPITRE 1

PROBLÉMATIQUE

Dans ce chapitre, je présente le contexte de l'étude, ma problématique, ma question de recherche et mes objectifs spécifiques.

1.1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Mon projet s'inscrit dans un espace où deux écosystèmes évoluent en parallèle sans véritable dialogue, soit l'industrie de la *fast fashion* et les technologies de la fabrication additive, l'impression 3D et 4D. D'un côté, l'industrie du prêt-à-porter occupe une place centrale dans l'écosystème de la mode contemporaine. Elle est structurée par de grandes entreprises internationales qui produisent des volumes élevés de vêtements à faible coût, rapidement mis en marché et largement diffusés auprès d'un public diversifié (Bick, Halsey & Ekenga, 2018). Ce modèle repose sur une consommation fréquente, encouragée par le renouvellement constant des collections et l'accessibilité économique des produits. Dans la littérature, la *fast fashion* est définie comme une chaîne d'approvisionnement accélérée qui exerce une pression sur les fabricants afin de produire rapidement et à faible coût, entraînant des impacts environnementaux et sociaux importants (Bick et al., 2018, p. 92). Ce système s'appuie sur des cycles de production accélérés et une faible durabilité des objets, ce qui entraîne une accumulation importante de déchets textiles et des enjeux liés à l'obsolescence des vêtements. Selon Niinimäki et al. (2020), elle s'inscrit dans un système où « rapidité, faible qualité et volumes massifs » structurent l'ensemble de la chaîne de valeur.

À l'échelle mondiale, la production de vêtements a plus que doublé entre 2000 et 2015, tandis que leur durée d'utilisation a diminué (*Ellen MacArthur Foundation*, 2017). Bien que ce phénomène soit global, il concerne également le contexte québécois, où la consommation de vêtements importés et à bas prix participe à une augmentation significative des textiles en fin de vie (RECYC-QUÉBEC,

2018). Une grande proportion de ces textiles est rapidement mise au rebut, contribuant à une accumulation de déchets difficile à gérer et à une pression accrue sur les ressources. Par ailleurs, plusieurs initiatives récentes cherchent à atténuer les impacts de ce modèle. Certaines approches privilégient des stratégies de circularité, comme le recyclage textile, la revente ou la réparation, tandis que d'autres explorent des modèles de production à plus petite échelle, incluant la fabrication locale ou à la demande. Des innovations technologiques émergent également, notamment dans le développement de nouveaux matériaux ou dans l'optimisation des chaînes de production. Toutefois, ces initiatives demeurent encore marginales à l'échelle globale et peinent à transformer en profondeur les logiques dominantes du système (*Ellen MacArthur Foundation, 2017 ; Niinimäki et al., 2020*).

D'un autre côté, les technologies d'impression 3D et 4D proposent un mode de fabrication fondé sur la production à la demande, la réduction du gaspillage matériel et la possibilité d'une personnalisation accrue. Elles reposent sur des matériaux programmables, capables de réagir, se modifier ou évoluer dans le temps, ouvrant un champ d'expérimentation où le vêtement n'est plus figé, mais transformable. Cette pratique, bien que prometteuse, demeure toutefois largement confinée à des contextes industriels ou académiques spécialisés. Les matériaux programmables sont coûteux et leurs propriétés ne sont pas toujours stables dans un usage quotidien. Les imprimantes capables de travailler ces matériaux restent rares et sont principalement accessibles dans des environnements spécialisés, ce qui en limite l'accès pour les créateurs et créatrices en mode.

Bien qu'ils évoluent en parallèle, ces deux univers partagent des préoccupations communes concernant les matériaux, la durée de vie, les déchets et les modes de production. Ce contexte met en évidence la nécessité d'explorer des voies créatives qui repensent la relation entre création numérique, durabilité et transformation. Le projet s'inscrit dans un espace hybride, interrogeant la façon dont l'impression 4D pourrait offrir une réponse créative et alternative à nos modes de consommation actuels.

1.2 GENÈSE DU PROJET

La genèse de mon projet provient directement de ma pratique. Mes premières explorations en impression 3D m'ont permis de découvrir un outil accessible pour expérimenter à petite échelle. Au fil de ces essais, j'ai constaté la fragilité de certains objets imprimés, les limites des matériaux utilisés et la quantité de résidus produits par les tests et les ajustements. Ces observations m'ont amenée à accorder davantage d'attention aux propriétés de la matière et à la manière dont elle réagit dans le processus d'impression.

La découverte des polymères réactifs employés en impression 4D a ensuite ouvert un espace de recherche inédit. Ces matériaux, capables de changer de forme lorsqu'ils sont exposés à la chaleur ou aux rayons UV, ont éveillé mon intérêt pour leur potentiel expressif. À partir de là, j'ai commencé à m'interroger sur la possibilité d'intégrer ces transformations dans la conception de vêtements, non pas comme un effet spectaculaire, mais comme une manière d'imaginer autrement la relation entre matière, corps et forme.

Cette exploration s'est toutefois heurtée à des contraintes techniques liées à ma pratique. Certains matériaux programmables sont coûteux et présentent une stabilité limitée lors d'un usage prolongé. De plus, les imprimantes adaptées à ces matériaux sont rarement disponibles hors des milieux spécialisés, ce qui m'a poussée à chercher des façons d'expérimenter avec des outils domestiques et des filaments accessibles.

Le projet s'est alors construit dans un rapport direct au geste, au prototypage et à l'observation attentive des réactions de la matière. Cette démarche progressive a façonné ma question de recherche et m'a conduite à envisager l'impression 4D comme un espace de création où le comportement du matériau devient un partenaire de réflexion.

1.3 PROBLÉMATIQUE

L'industrie de la fast fashion repose sur un modèle de production accéléré aux impacts environnementaux et matériels bien documentés, qui soulève des enjeux importants en matière de durabilité, de cycle de vie des objets et de gestion des ressources. Ce modèle laisse peu de place à des pratiques modulaires, réparables ou évolutives. Toutefois, certaines pratiques émergentes en design et en mode explorent des alternatives, notamment par l'intégration de technologies de fabrication numérique et de matériaux réactifs. Malgré ces initiatives, ces approches demeurent encore peu développées dans des pratiques accessibles, situées et centrées sur l'usage, laissant un espace de recherche quant à leur intégration concrète dans des démarches créatives.

En parallèle, des pratiques en mode et en design explorent l'intégration de la fabrication numérique, notamment l'impression 3D et, plus récemment, l'impression 4D, qui introduit une dimension temporelle en permettant aux matériaux de se transformer après leur fabrication. Des créateurs comme Iris van Herpen ont démontré le potentiel de l'impression 3D dans la conception vestimentaire, tandis que des recherches en design et en recherche-crédation, notamment celles de Joanna Berzowska et de Valérie Lamontagne à Concordia University, explorent des matériaux sensibles intégrant le temps, le mouvement et l'interaction.

Dans ce contexte, mes explorations en impression 3D montrent que la fabrication additive, même avec des outils domestiques, permet une conception plus attentive aux matériaux, au geste et à la transformation. Elle favorise des processus lents, modulaires et itératifs qui contrastent avec la production de masse. Toutefois, l'impression 4D demeure difficile d'accès : les matériaux réactifs sont coûteux, leur stabilité est variable et les imprimantes capables de les transformer restent rares. Ces contraintes limitent leur usage dans un contexte quotidien, mais elles ouvrent un espace d'expérimentation pour repenser la conception vestimentaire. Malgré les avancées en impression 3D et 4D, un manque persiste quant au développement de méthodes accessibles, reproductibles et applicables à petite échelle, limitant leur appropriation dans des pratiques créatives situées en mode.

La problématique de ce mémoire se situe dans la tension entre ces deux univers. D'un côté, un modèle de production vestimentaire rapide et jetable ; de l'autre, la possibilité d'explorer des matériaux programmables qui réagissent au temps, à la chaleur ou aux UV. Cette tension invite à

interroger la manière dont la fabrication additive à petite échelle peut devenir un terrain pour imaginer des vêtements qui évoluent au lieu d'être remplacés. Ainsi, ma question de recherche est ceci :

Comment une approche accessible de l'impression 4D peut-elle se substituer aux formes traditionnelles de conception vestimentaire en offrant des vêtements plus adaptatifs, modulaires et durables que ceux issus de la *fast fashion* ?

1.4 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

Ce projet de recherche-crédation s'appuie sur trois objectifs spécifiques qui structurent l'exploration des matériaux réactifs et leur potentiel dans la conception vestimentaire.

Objectif 1 : Comprendre les propriétés et les limites des matériaux réactifs accessibles lorsque ceux-ci sont utilisés avec une imprimante domestique. Je vais analyser leur comportement, leur stabilité et leur réactivité à différents stimuli comme la chaleur ou les rayons UV.

Objectif 2 : Développer des prototypes modulaires et adaptatifs permettant d'observer comment ces matériaux réactifs peuvent être intégrés dans une forme vestimentaire. Je vais concevoir et tester des structures imprimées en 3D/4D, documenter leurs transformations et évaluer leur potentiel d'assemblage ou de réorganisation.

Objectif 3 : Explorer comment l'impression 4D accessible peut se substituer aux méthodes traditionnelles de conception vestimentaire, en proposant une approche plus durable que celle associée à la *fast fashion*. Je vais créer une œuvre finale, analyser le processus de fabrication, et examiner la pertinence de cette approche pour concevoir des vêtements modulaires, réparables et évolutifs.

1.5 PORTÉE DE MON PROJET

Mon projet propose une exploration à petite échelle, où les prototypes servent à observer la réactivité et la modularité des matériaux. Je souhaite proposer une démarche artistique qui ouvre une réflexion sur la transformation de la matière et sa durée de vie. La portée se limite à une création expérimentale réalisée avec des outils accessibles, comme des imprimantes domestiques FDM et des matériaux disponibles sur le marché.

1.6 LIMITES DE MON PROJET

Plusieurs contraintes orientent le développement de mon projet. Les matériaux programmables utilisés en impression 4D sont encore difficiles à obtenir et ne sont pas conçus pour être manipulés avec des imprimantes domestiques. Leur durabilité est limitée, car certains perdent leurs propriétés après plusieurs cycles. Les imprimantes accessibles au grand public ne permettent pas toujours l'impression optimale de ces polymères réactifs. Les procédés de fabrication génèrent aussi des déchets liés aux prototypes ratés et à la production d'essais. Je ne vais pas et ne souhaite pas remplacer les procédés industriels de la mode. Enfin, les ressources disponibles ne permettent pas d'explorer l'ensemble des matériaux avancés utilisés dans les laboratoires spécialisés. Mon projet doit donc composer avec des contraintes matérielles, techniques et économiques qui influencent sa portée.

1.7 PERTINENCE DANS LE CHAMP DE RECHERCHE

Ma recherche s'inscrit dans un champ où la mode, la création numérique et la temporalité se croisent, notamment à travers des pratiques telles que les vêtements imprimés en 3D, les textiles interactifs, les matériaux réactifs et les dispositifs vestimentaires capables de se transformer dans le temps. Elle contribue à une réflexion émergente qui cherche à concilier pratiques artisanales, technologies accessibles et préoccupations environnementales. Mon projet met en avant l'impression 4D comme une voie créative encore peu explorée en dehors des milieux spécialisés. Il propose une perspective ancrée dans la pratique, centrée sur la modularité et l'adaptabilité des vêtements. Sa

pertinence repose sur trois apports. Il explore la transformation de la matière dans un contexte artistique. Il repose sur une démarche accessible au public, ce qui est rarement abordé dans les recherches en impression 4D. Il propose une alternative à la *fast fashion* en réfléchissant à la durée de vie et à l'évolution du vêtement. Cette contribution ouvre un espace de réflexion pour envisager des pratiques plus responsables et durables dans le domaine de la mode.

CHAPITRE 2

ÉTAT DE L'ART ET RÉFÉRENCE CRÉATIVES

Ce chapitre présente les bases théoriques, critiques et créatives qui soutiennent ma recherche-création. Il regroupe les démarches artistiques, les travaux scientifiques et les modèles conceptuels qui éclairent la relation entre mode, matériaux réactifs et fabrication numérique. L'objectif est de situer mon projet dans un ensemble de pratiques existantes tout en montrant ce qu'il vient compléter ou questionner. Les images présentées dans ce chapitre proviennent des sites officiels des artistes et sont utilisées à des fins d'analyse critique dans un contexte académique. Leur reproduction s'inscrit dans le cadre de l'utilisation équitable prévue par la Loi sur le droit d'auteur.

La revue couvre trois ensembles, soit les références liées à l'impression 3D et aux structures modulaires, les démarches travaillant la transformation et la réactivité des textiles, et les pratiques du design computationnel et biomatériel. À cela s'ajoutent les fondements théoriques qui définissent les concepts clés mobilisés dans cette recherche.

Enfin, une analyse critique met en évidence les limites relevées dans la littérature, notamment l'accessibilité restreinte de l'impression 4D, la rareté des matériaux réactifs durables et le manque d'applications concrètes pour la mode adaptative. Ces constats permettent d'identifier les lacunes que mon projet vise à explorer.

2.1 ENTRE CYCLES ACCÉLÉRÉS ET MATIÈRE RÉACTIVE : CADRE CONCEPTUEL

Ce cadre conceptuel rassemble les définitions nécessaires à l'analyse des liens entre la *fast fashion* et l'impression 3D/4D. Certains éléments ont été introduits dans l'Introduction et dans le Chapitre 1 lors de la présentation du contexte et de la problématique. Le présent cadre propose les définitions formelles sur lesquelles s'appuient les chapitres suivants, en posant ces notions comme des outils communs d'analyse, applicables à des systèmes de production distincts mais comparables.

Les notions mobilisées dans cette section relèvent de registres différents. Certaines désignent des systèmes de production et de consommation, d'autres des technologies de fabrication, d'autres encore des processus matériels ou des conséquences environnementales. L'objectif n'est pas de les traiter séparément, mais de montrer qu'elles traversent à la fois la *fast fashion* et la fabrication additive, permettant ainsi une lecture transversale de leurs enjeux communs.

Elle constitue ainsi un système de référence, caractérisé par des cycles de production et d'usage courts, à partir duquel il devient possible d'interroger d'autres modes de fabrication.

L'impression 3D, mentionnée brièvement dans la genèse du projet (section 1.2), est ici définie comme une méthode de fabrication additive produisant un objet couche par couche à partir d'un modèle numérique. Dans le cadre de cette recherche, la technologie concernée est l'impression FDM, qui repose sur l'extrusion d'un filament thermoplastique fondu à travers une buse chauffée : « *in fused deposition modeling (FDM), a thermoplastic filament is fed through a heated nozzle, where it is melted and deposited layer by layer* » (Gibson, Rosen & Stucker, 2015, p. 147). Cette technologie utilise des polymères courants tels que le PLA ou le TPU. Bien qu'elle soit souvent perçue comme plus flexible et personnalisable, elle constitue elle aussi un système de production générant des résidus, des erreurs de fabrication et des limites matérielles comparables à celles observées dans la mode industrielle.

Le cycle de vie des objets, comme mentionné dans le Chapitre 1, est entendu comme l'ensemble des étapes allant de l'extraction des matières premières à l'élimination finale. Comme le rappelle Boyd, « *Life cycle assessment considers the environmental impacts of a product or process across all stages of its life, from raw material extraction through production, use, and end-of-life disposal* » (Boyd, 2017). Cette perspective permet d'évaluer les impacts réels d'un objet, y compris lorsqu'il provient d'une technologie présentée comme plus écologique. Cette notion traverse à la fois la *fast fashion* et la fabrication additive : dans les deux cas, la brièveté de l'usage, les défauts de production et les résidus techniques contribuent à une accumulation de déchets. Si l'impression 4D peut, en théorie, prolonger l'usage de certains objets, la gestion de ses matériaux programmables en fin de vie demeure encore limitée.

L'obsolescence, présentée comme un enjeu transversal dans le Chapitre 1, est définie ici, à la suite de Bulow, comme un mécanisme par lequel la durée de vie utile des objets est volontairement ou structurellement réduite. Comme le formule Bulow, « *planned obsolescence is the production of goods with uneconomically short useful lives so that consumers will have to make repeat purchases* » (Bulow, 1986, p. 729). Dans la mode, elle se manifeste par l'usure matérielle et les cycles esthétiques accélérés. Dans la fabrication additive, elle prend la forme d'objets fragiles, difficilement réparables ou dont les matériaux se dégradent rapidement. L'obsolescence constitue ainsi un indicateur commun des limites techniques et matérielles propres à ces systèmes, même lorsqu'ils se présentent comme innovants ou alternatifs.

La notion de déchets désigne l'ensemble des résidus issus de la production, de l'usage et de la fin de vie des textiles et des objets imprimés. Selon la Fondation Ellen MacArthur (2017), l'absence de filières de recyclage efficaces et la faible durée d'usage des vêtements entraînent une perte massive de matière et de valeur, contribuant à l'accumulation de déchets textiles. Les déchets constituent un point de convergence entre la fast fashion, l'impression 3D et l'impression 4D, qu'il s'agisse de vêtements jetés, de rebuts de prototypes ou de matériaux programmables difficiles à récupérer. Cette notion permet de relier les enjeux environnementaux de ces systèmes.

Les concepts de cycle de vie, d'obsolescence et de déchets forment un cadre d'analyse commun pour examiner des modes de production distincts. Ils permettent d'évaluer les impacts matériels, environnementaux et temporels des objets en considérant leur production, leur usage et leur fin de vie, ainsi que les dynamiques qui influencent leur durée d'existence et leur mise au rebut. Ces notions se situent à l'interface des systèmes étudiés et des enjeux de durabilité.

En mobilisant ces concepts comme points de convergence, ce cadre conceptuel propose une lecture critique qui dépasse l'opposition entre mode industrielle et fabrication numérique. Ce cadre conceptuel remplit ainsi une fonction équivalente à celle d'un schéma, en explicitant les relations entre systèmes, concepts et enjeux mobilisés dans l'analyse. Ces définitions constituent la référence principale pour l'analyse développée dans les chapitres subséquents et, lorsqu'elles apparaissent plus loin dans le mémoire, elles renvoient à ce cadre sans être reformulées, afin d'assurer cohérence, lisibilité et continuité théorique.

2.2 LA MATIÈRE COMME LIEU DE PENSÉE : MODE, TRANSFORMATION ET FABRICATION NUMÉRIQUE

Les fondements théoriques de ce projet reposent sur trois axes étroitement liés, soit la durabilité (*sustainability*), la matérialité réactive, et les approches épistémologiques issues de la recherche-crédation. Ensemble, ces axes structurent une manière de penser la mode non plus comme un produit figé, mais comme un système de transformation inscrit dans le temps, la matière et la pratique.

Axe 1 - Durabilité et remise en question des cycles accélérés

La durabilité, déjà introduite dans l'Introduction et en section 1.1, constitue un concept central dans ce projet, comprise comme une volonté de ralentir les cycles de production, d'allonger la durée de vie des objets et de réduire la quantité de déchets générés. Dans le domaine de la mode, une telle approche implique une remise en question des matériaux, des méthodes de conception et des systèmes de consommation. Les travaux de Niinimäki et Hassi (2011) montrent que la durabilité ne peut se limiter à des ajustements techniques, mais suppose une transformation plus profonde des pratiques de design. Cette perspective permet de placer la *fast fashion* et la fabrication additive dans un même cadre critique, marqué par des cycles de vie accélérés, une obsolescence fréquente et une accumulation de déchets difficile à gérer. Ainsi, ces enjeux peuvent être relus à travers la notion de cycle de vie des objets, qui permet d'évaluer les impacts réels des technologies étudiées au-delà de leur phase de fabrication. Ces limites matérielles participent à des formes d'obsolescence, non plus seulement esthétiques, mais techniques et fonctionnelles.

Cette réflexion est essentielle pour comprendre les limites structurelles de la *fast fashion*. De nombreuses études dénoncent un modèle fondé sur la production rapide de vêtements à faible durée de vie, entraînant une accumulation massive de déchets textiles (Bick, Halsey & Ekenga, 2018). Les fibres synthétiques couramment utilisées, comme le polyester, mettent plusieurs siècles à se dégrader et libèrent des microplastiques à chaque lavage (De Falco et coll., 2019). Par ailleurs, la majorité de ces textiles ne bénéficie pas de filières de recyclage adaptées (Ellen MacArthur

Foundation, 2017), ce qui accentue l'empreinte environnementale du secteur. À l'instar de la fast fashion, la fabrication additive par impression 3D présente des limites structurelles lorsque ses usages sont évalués à l'échelle du cycle de vie et de la gestion des déchets, notamment en raison des rebuts de production et des difficultés de recyclage associées à certains polymères (Ford & Despeisse, 2016). Ces constats soulignent la nécessité d'explorer d'autres formes de production, fondées sur des pratiques plus lentes, réparables ou modulaires.

Axe 2 - Matérialité réactive et programmabilité de la matière

Dans ce contexte critique, le second axe porte sur la matérialité réactive, envisagée comme une réponse conceptuelle et technique aux limites des systèmes actuels. L'impression 4D ouvre une piste de réflexion singulière en proposant une approche où la matière n'est plus considérée comme un support passif, mais comme un élément actif du processus de conception. Elle a également été présentée dans le Chapitre 1 pour illustrer l'intérêt de matériaux réactifs. Elle est définie comme une extension de l'impression 3D intégrant la dimension temporelle. Selon Tibbits (2014), l'introduction du temps comme quatrième dimension permet aux objets imprimés de se transformer après leur fabrication, tandis que Gladman et al. (2016) précisent que ces transformations sont déclenchées par des stimuli environnementaux.

La matière y devient programmable, porteuse d'un comportement latent inscrit dans sa structure même. Les matériaux programmables, capables de modifier leur forme, leur rigidité ou leur texture en réponse à la chaleur, à la lumière ou à l'humidité, constituent ainsi le socle technique de cette approche (Momeni et al., 2017). Ils occupent une position intermédiaire entre technologie, usage et transformation de l'objet, en introduisant une logique d'adaptabilité plutôt que de fixité.

Les recherches menées par Skylar Tibbits au Massachusetts Institute of Technology (MIT) *Self-Assembly Lab* illustrent ce potentiel. Le projet de chaîne imprimée en 4D, dans lequel une structure initialement droite se replie de manière programmée pour former les lettres « MIT » (figure 1) démontre la capacité de la fabrication additive à produire des formes dynamiques et adaptatives (MIT Self-Assembly Lab, 2014). Appliquée au vêtement, cette logique conduit à concevoir des objets dont la structure n'est jamais entièrement figée, mais évolue en fonction de leur environnement et de leur

usage. Le vêtement peut alors être compris comme un système dynamique, proche d'un organisme évolutif, plutôt que comme un produit fini et stable.



Figure 1 : Skylar Tibbits au MIT Self-Assembly Lab, *MIT Chain 4D printing*, 2014

Source : site officiel de l'artiste (<https://selfassemblylab.mit.edu/4d-printing/s4gn7v7vjb99eanr7ywdvst1lq0b3w>)
Image utilisée à des fins d'analyse critique dans un contexte académique.

Cependant, cette matérialité réactive doit être envisagée de manière critique. Certains polymères couramment utilisés, comme le PLA, bien que souvent présentés comme biodégradables, ne se décomposent réellement que dans des conditions industrielles spécifiques encore peu répandues (Shao, 2022) et peuvent émettre du méthane lorsqu'ils sont mis en décharge (Saavedra-Rojas, 2024). À cela s'ajoutent les déchets générés par les impressions ratées, les supports et les prototypes inutilisés, qui constituent une part significative des résidus issus de la fabrication additive (Moreno, 2021).

Les travaux sur l'impression 4D mettent également en évidence des enjeux spécifiques de durabilité. Plusieurs matériaux programmables perdent leurs propriétés après un nombre limité de cycles de transformation, ce qui réduit leur efficacité à long terme (Grassi, Sparrman, Paoletti & Tibbits, 2014 ; 2016). Certains systèmes reposent sur des composants sensibles, comme l'éthanol, qui se dégradent rapidement. De plus, les matériaux réactifs restent coûteux, difficiles d'accès et

rarement adaptés à un usage quotidien. Bien que les projets développés au Massachusetts Institute of technology (MIT) démontrent le potentiel conceptuel et technique de l'impression 4D, ils reposent encore sur des équipements spécialisés, éloignés des outils accessibles au grand public. Ainsi, l'impression 3D et plus encore l'impression 4D ne peuvent être considérées comme des solutions écologiques évidentes, mais plutôt comme des terrains d'expérimentation à interroger de manière critique.

Axe 3 - Recherche-crédation et production de savoir par la pratique

En suivant l'approche épistémologiques propre à la recherche-crédation, le troisième axe s'inscrit dans une perspective où la connaissance naît du geste et de la confrontation directe avec la matière. Cette approche repose sur l'idée que le savoir se construit dans l'essai, la répétition et l'ajustement constant. L'approche heuristique décrite par Paquin (2019) structure ce processus en cycles d'exploration, d'observation et de transformation, permettant d'apprendre par et dans la pratique.

Cette vision rejoint la réflexion de Schön (1983) sur la pensée qui émerge dans l'action et se précise à travers les ajustements réalisés en situation réelle. Elle dialogue également avec les perspectives de Sennett (2008) et d'Ingold (2013), pour qui le geste artisanal et la fabrication constituent des formes d'enquête, où la technique devient un lieu de rencontre entre intuition, attention et matérialité. Cette approche épistémologique renforce l'idée que la création peut produire un savoir situé, sensible et tacite, qui ne pourrait émerger autrement que dans la pratique.

Ces trois axes convergent vers une même idée directrice, soit que la matière devient un espace de connaissance lorsque la création repose sur un rapport direct, expérimental et temporel à la fabrication numérique. Dans cette perspective, la mode n'est plus envisagée comme un objet figé, mais comme un processus en constante évolution. La matière est perçue comme un partenaire de création qui influence les décisions et oriente les formes possibles. Le geste contribue lui-même à la production de savoir, et la technologie agit comme un prolongement sensible du travail humain.

Cette articulation théorique permet enfin d'adopter un regard critique sur les pratiques actuelles. Dans la *fast fashion* comme dans l'impression 3D et 4D, on observe un écart important entre les promesses de durabilité et les impacts réels.

2.3 DÉMARCHES ARTISTIQUES ET PRATIQUES DE CRÉATION CONTEMPORAINES

La réflexion qui traverse mon projet s'inscrit dans un ensemble de démarches artistiques et de design qui explorent la matérialité, la transformation et l'adaptabilité du vêtement. Certaines pratiques sont directement liées à l'impression 3D, comme les structures modulaires imprimées développées par Brigitte Kock ou les créations de Iris van Herpen, tandis que d'autres, non technologiques, permettent d'élargir le cadre conceptuel en montrant comment le vêtement peut devenir un organisme sensible, un système modulaire ou une surface réactive, comme dans les travaux de Ying Gao.

2.3.1 LE VÊTEMENT MODULAIRE ET LA FABRICATION ADDITIVE

Le travail de Brigitte Kock constitue l'une des influences majeures de ce projet. Sa pratique repose sur l'idée que le vêtement peut être assemblé autrement que par la couture traditionnelle. Elle développe des modules imprimés en 3D qui s'emboîtent les uns dans les autres et qui forment des surfaces souples, ajustables et réparables. Cette approche transforme l'impression 3D en un langage textile fait de petites unités capables de créer des structures adaptatives. Ses recherches montrent qu'un vêtement peut être démonté, modifié et reconstruit selon les besoins du porteur. Elle met en avant une logique circulaire où chaque module peut être remplacé ou reconfiguré sans produire de déchets supplémentaires. Ses prototypes révèlent qu'il est possible de concevoir des vêtements évolutifs, accessibles et adaptés à une production à petite échelle.

Dans le cadre de sa collaboration avec Balena, la designer Brigitte Kock a développé une collection de vêtements imprimés en 3D à partir de biomatériaux compostables. Parmi ces pièces figure un pantalon conçu comme une structure ouverte et segmentée, intégrant des découpes latérales et des zones ajourées à l'arrière, qui mettent en évidence une logique d'assemblage

modulaire plutôt qu'une forme vestimentaire figée (figure 2). Cette approche, fondée sur la variation des connexions et des empiècements, nourrit directement ma réflexion sur la modularité et l'adaptabilité comme principes de conception (Kock, 2024).



Figure 2 : Brigitte Kock, *Collection de vêtements imprimés en 3D en biomatériaux compostables pour Balena, 2024.*

FashionNetwork ; Specialty Fabrics Review,

Source : <https://specialtyfabricsreview.com/2024/06/01/sustainable-3d-printed-fashion-created-with-biomaterial/> Image utilisée à des fins d'analyse critique dans un contexte académique.

La haute couture d'Iris van Herpen demeure également une référence importante. Sa pratique explore depuis plus d'une décennie la rencontre entre impression 3D, artisanat et techniques traditionnelles. Elle utilise la fabrication additive pour créer des formes sculpturales, parfois inspirées de phénomènes naturels, comme le mouvement de l'eau, la croissance organique ou les structures microscopiques. Ses œuvres montrent que l'impression 3D peut générer des textures souples, des

foliations complexes ou des volumes fluides qui réagissent au mouvement du corps. Van Herpen travaille souvent en collaboration avec des ingénieurs, des scientifiques ou des studios informatiques, ce qui lui permet de pousser la matière à ses limites techniques et esthétiques. Bien que son travail s'inscrive dans le champ de la haute couture et de la performance visuelle, la démarche de Iris van Herpen met en évidence le potentiel expressif de l'impression 3D appliquée au vêtement (figure 3). Ses créations se caractérisent par des structures tridimensionnelles complexes, souvent inspirées de formes organiques, fluides ou biomorphiques, qui s'éloignent des constructions textiles traditionnelles (Iris van Herpen, 2012). L'impression 3D y est utilisée comme un outil de recherche formelle, permettant l'émergence de gestes sculpturaux et de volumes hybrides, situés à la frontière entre mode, art et design. Cette approche nourrit directement ma propre exploration de l'impression 4D, en montrant que le vêtement imprimé peut dépasser une fonction purement utilitaire pour devenir un espace d'expérimentation esthétique, conceptuelle et prospective.



Figure 3 : Iris van Herpen, *Voltage*, 2012.

Source : site officiel de l'artiste (<https://www.irisvanherpen.com>). Image utilisée à des fins d'analyse critique dans un contexte académique.

2.3.2 RÉACTIVITE, SENSIBILITÉ ET TRANSFORMATION DU VÊTEMENT

Certaines démarches artistiques approfondissent l'axe poétique, sensoriel et transformable qui traverse mon projet en explorant des vêtements capables de réagir à leur environnement. Leur travail déplace la fonction du vêtement vers un espace d'expression, d'interaction et de sensibilité, et éclaire directement l'usage des matériaux réactifs dans ma propre démarche.

Le travail de Ying Gao constitue un repère essentiel dans l'exploration de vêtements réactifs et comportementaux. Ses pièces prennent la forme de structures textiles blanches et stratifiées, dont les surfaces se déforment, s'ouvrent ou se contractent en réponse à des stimuli extérieurs tels que la lumière, le souffle ou la proximité du public. À l'aide de dispositifs de robotique douce, de capteurs lumineux et de textiles intelligents intégrés de manière discrète, elle conçoit des vêtements capables de produire des micro-mouvements lents et organiques, évoquant une respiration ou un réflexe de protection (Gao, 2013) (figure 4). Ces transformations, souvent minimales mais continues, confèrent au vêtement un comportement autonome, presque vivant, qui entre en résonance avec l'esprit des matériaux 4D mobilisés dans mon projet. Son travail démontre que la réactivité peut dépasser la démonstration technologique pour devenir un langage sensible et poétique, traduisant une forme de présence.



Figure 4 : Ying Gao, *Incertitudes*, 2013.

Source : site officiel de l'artiste (<http://yinggao.ca/interactifs/nowhere-nowhere/http://yinggao.ca/interactifs/nowhere-nowhere/>). Image utilisée à des fins d'analyse critique dans un contexte académique.

Les recherches menées par The Unseen et par la designer Lauren Bowker s'inscrivent dans une exploration du changement de couleur comme phénomène sensible et perceptif. Le vêtement se présente sous la forme d'une silhouette sombre et structurée, proche du manteau sculptural, dont la surface semble composée de plis fins et organiques rappelant des strates ou des nervures. À première vue monochrome et opaque, cette surface se transforme progressivement lorsqu'elle est exposée à des variations environnementales, soit la température corporelle, le souffle, le vent ou les rayons ultraviolets (The Unseen & Bowker, 2014) (figure 5).



Figure 5 : Lauren Bowker (*The Unseen*), *Seeing the Unseen*, 2014.

Source : site officiel de l'artiste (<https://materialdistrict.com/article/seeing-unseen/>). Projet de mode expérimentale utilisant des matériaux chromo-réactifs. Image utilisée à des fins d'analyse critique dans un contexte académique.

L'activation des pigments thermochromiques et photochromiques fait alors émerger des teintes iridescentes allant du vert au bleu, révélant des motifs internes jusque-là invisibles. Le vêtement devient une interface sensible, oscillant entre opacité et révélation, où le changement de couleur agit comme un indicateur direct de l'interaction entre le corps, la matière et l'environnement. Cette approche confère à la matière une dimension expressive et comportementale, en résonance avec les logiques des matériaux 4D, où la transformation n'est pas décorative mais signifiante.

Le travail de Clara Daguin explore une zone de contact subtile entre artisanat textile et technologies électroniques intégrées. Les vêtements prennent la forme de surfaces textiles sombres et épurées, dans lesquelles sont brodés avec une grande précision des circuits conducteurs et de micro-composants lumineux. La lumière, diffusée de manière ponctuelle ou linéaire, apparaît comme enchâssée dans la matière, suivant le tracé des broderies plutôt que s'y superposer (Daguin, 2024) (figure 6).



Figure 6 : Clara Daguin, *Starlink*, 2024.

Source : site officiel de l'artiste (<https://www.claradaguin.com/copy-of-starlink>). Projet de vêtement intégrant broderies électroniques et dispositifs lumineux. Image utilisée à des fins d'analyse critique dans un contexte académique.

Cette intégration discrète confère au vêtement une matérialité hybride, où l'électronique se fond dans un geste artisanal minutieux, proche de l'ornementation traditionnelle. L'éclairage devient alors un motif actif, capable d'évoluer en intensité ou en rythme, sans rompre l'équilibre formel de la pièce. La démarche de Clara Daguin démontre que l'intégration technologique peut s'opérer dans la finesse et la continuité du textile, ouvrant la voie à une technologie sensible et incarnée. Cette

approche nourrit directement ma réflexion sur l'intégration de matériaux réactifs, en montrant qu'ils peuvent enrichir l'esthétique du vêtement sans en perturber la cohérence.

2.3.3 MATIÈRE VIVANTE, CALCUL ET FORMES GÉNÉRÉES

D'autres pratiques, situées du côté du design computationnel et des biomatériaux, élargissent encore le cadre conceptuel de ce projet. Elles invitent à considérer la matière comme un système vivant, doté de logique propre, programmable, ou capable d'évoluer dans le temps.

La démarche de Neri Oxman est ici déterminante. À travers le concept de material ecology, elle propose de concevoir non plus sur la matière, mais avec elle, en intégrant dès la conception ses propriétés physiques, biologiques et comportementales. Dans le projet Wanderers, les artefacts prennent la forme de structures portables biologiquement inspirées combinant géométries tissées, membranes translucides et matériaux composites imprimés en 3D (Oxman, Wanderers, 2025) (figure 7).



Figure 7 : Neri Oxman, *Wanderers*, 2025.

Source : site officiel de l'artiste (<https://www.media.mit.edu/projects/wanderers/overview/>). Projet de recherche, MIT Media Lab. Image utilisée à des fins d'analyse critique dans un contexte académique.

Le travail de Julia Körner s'inscrit à la croisée du design computationnel, de la fabrication additive et de l'inspiration biologique. Dans la série *Setae*, les pièces prennent la forme de volumes textiles denses et organiques, composés de milliers de filaments ou de modules fins rappelant des structures pileuses, coralliennes ou arborescentes. La surface du vêtement apparaît à la fois épaisse et poreuse, laissant émerger une matérialité tactile et vibrante, dont les dégradés de couleurs accentuent la profondeur et la complexité formelle. Les œuvres sont générées par calcul et produites par impression 3D, ces structures traduisent des logiques issues du vivant, soit la croissance, répétition, variation, plutôt qu'un dessin prédéterminé (Körner, 2019) (figure 8). Le vêtement devient ainsi le résultat d'un processus génératif, où la forme semble émerger de règles internes plus que d'un assemblage manuel. Cette approche nourrit ma réflexion sur la modularité et l'adaptabilité, en montrant comment le numérique peut produire des vêtements capables d'évoluer, de se densifier ou de se transformer, plutôt que de rester figés dans une forme unique.

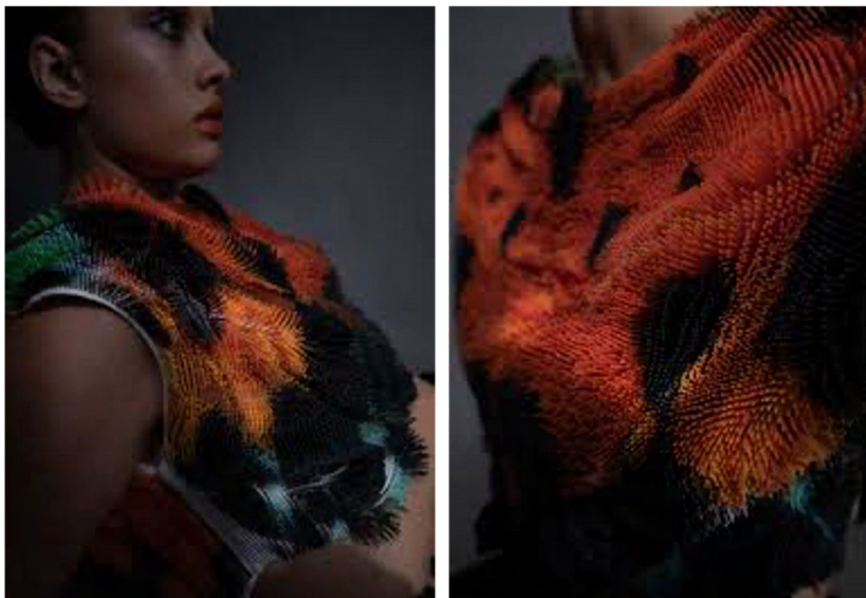


Figure 8 : Julia Körner, *Setae*, 2019.

Source : site officiel de l'artiste (<https://www.juliakoerner.com/setae>). Projet de design computationnel et fabrication additive appliqué au vêtement. Image utilisée à des fins d'analyse critique dans un contexte académique.

Enfin, le travail de Studio XO, aujourd'hui XO International, explore le vêtement comme un dispositif performatif et interactif, conçu pour la scène et l'espace public. Les pièces se présentent

comme des structures enveloppantes et translucides, composées de modules géométriques lumineux articulés autour du corps. Dans l'œuvre présentée, le vêtement adopte une forme quasi organique, proche d'une carapace ou d'une membrane, intégrant des éléments lumineux diffusés à travers une surface segmentée en alvéoles (Studio XO, 2014) (figure 9). La structure réagit au mouvement, à la performance et à des dispositifs électroniques intégrés. Elle change d'aspect et de forme en temps réel. Le corps devient alors un support actif de lumière et de volume. Le vêtement prolonge le geste et accompagne l'action. Il se situe entre sculpture portable, interface technologique et élément scénique. Cette dimension temporelle, fondée sur l'activation et la transformation, fait écho aux principes de l'impression 4D, dans laquelle le vêtement n'est plus figé mais conçu comme un système en évolution.



Figure 9 : Studio XO. *Projet de mode technologique et performance scénique*. 2014

Source : site officiel de l'artiste (<https://itsnancyelfakih.wordpress.com/articles-2/studio-xo-fashion-meets-technology/>). Studio XO: *Fashion Meets Technology*. Image utilisée à des fins d'analyse critique dans un contexte académique.

Ces objets sont conçus comme des systèmes adaptatifs, capables de filtrer, capter ou transformer des éléments de l'environnement, illustrant une matière orientée et cultivée plutôt qu'imposée. Le numérique y devient un outil de médiation entre le corps, la matière et le milieu, permettant l'émergence de formes dont la transformation est intrinsèque à leur structure. Cette vision

influence directement ma manière d'aborder l'impression 4D, où la capacité de transformation n'est pas un ajout fonctionnel, mais une propriété inscrite dans la matérialité même du projet.

2.4 LIMITES, TENSIONS ET ANGLES MORTS DES PRATIQUES ACTUELLES

Les recherches actuelles sur l'impression 3D et 4D mettent en évidence plusieurs limites qui freinent leur intégration dans la mode et dans les pratiques créatives. L'accessibilité technologique demeure restreinte, puisque la majorité des avancées repose sur des équipements spécialisés, des matériaux coûteux et des compétences difficiles à mobiliser en dehors des milieux industriels et universitaires. Il y a peu d'études qui proposent des approches adaptées à un usage domestique ou artisanal, ce qui limite la démocratisation de ces technologies.

Les pratiques liées à l'impression 3D et 4D présentent plusieurs limites déjà identifiées, notamment en ce qui concerne l'accès aux technologies, la disponibilité et la stabilité des matériaux, ainsi que les enjeux environnementaux liés à la production de résidus et à la gestion de la fin de vie. Ces contraintes, à la fois techniques et matérielles, freinent leur intégration dans des pratiques accessibles et dans des usages quotidiens.

Au-delà de ces limites techniques et environnementales, plusieurs lacunes apparaissent dans les cadres théoriques mobilisés. Les recherches s'attardent principalement à la performance des matériaux ou à leur potentiel industriel, et analysent rarement l'impression 4D sous l'angle de la matérialité sensible, du rapport au geste ou du processus créatif. Cette focalisation restreint la compréhension de ce que ces technologies modifient réellement dans la conception, dans l'expérience du matériau et dans la relation au temps.

Des lacunes méthodologiques se dégagent également. La majorité des études privilégie des approches technocentrées axées sur l'optimisation, au détriment de démarches expérimentales fondées sur l'exploration, le prototypage et la documentation du geste. Les méthodes qui considèrent la création comme un processus d'apprentissage demeurent marginales, alors qu'elles sont essentielles pour comprendre comment la matière réagit, se transforme et influence les décisions de conception.

Un autre angle peu exploré concerne l'expérience de la personne qui porte le vêtement. Les recherches se concentrent largement sur l'objet fini plutôt que sur la manière dont il est porté, ressenti ou approprié. Les enjeux liés au confort, à l'adaptabilité vécue, au mouvement et à l'usage réel restent peu documentés, alors qu'ils sont centraux pour évaluer la pertinence des vêtements imprimés en 3D ou 4D dans des contextes concrets. Cette lacune limite la compréhension de leur intégration réelle dans des pratiques situées.

L'ensemble de ces limites, tensions et angles morts révèle un décalage entre la complexité des pratiques émergentes et les cadres analytiques mobilisés pour les étudier. Ils justifient la pertinence d'une recherche-crédation qui aborde l'impression 4D à partir de l'expérimentation, du savoir-faire, de la manipulation des matériaux et de l'expérience du porteur, et qui cherche à développer des approches accessibles, reproductibles et sensibles aux enjeux contemporains de durabilité, d'usage et de création.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre présente la méthodologie que j'ai mise en place pour la réalisation de ma recherche-création. Il expose d'abord le positionnement de mon projet dans le champ de la recherche-création, puis décrit les moyens concrets mobilisés pour atteindre mes objectifs. Il revient enfin sur les considérations éthiques et épistémologiques qui sous-tendent ma démarche.

3.1 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE-CRÉATION : POSITIONNEMENT

Ma recherche s'inscrit dans une approche où la pratique constitue un vecteur essentiel de production de connaissances. Ce positionnement permet d'articuler la réflexion théorique et l'expérimentation matérielle en considérant le geste, la matière et l'itération comme des modes légitimes d'investigation. Dans ce contexte, la création n'est pas une étape séparée de l'analyse, mais un espace où les concepts se formulent, se transforment et s'éprouvent à travers les prototypes.

Ma démarche repose sur une méthodologie *bottom-up*, qui privilégie un développement progressif des idées à partir des expérimentations. Cette approche repose sur l'idée que la compréhension se construit par l'observation, l'essai et l'ajustement, plutôt que par l'application d'un modèle prédéfini. Comme le rappellent Giffard et Lebeau (2019), tout comme Evan et coll. (2006), l'approche *bottom-up* se caractérise par un développement ascendant, fondé sur l'analyse du terrain, la rétroaction constante et l'évolution des solutions au fil des itérations. Cette logique s'accorde avec ma recherche-création, où les comportements matériels, les imprévus techniques et la manipulation des polymères influencent directement l'orientation du projet. Plutôt qu'un modèle prédéfini, mon projet avance par cycle successif où mes observations pratiques orientent mes décisions esthétiques et techniques. Mon approche est particulièrement adaptée à l'impression 4D, une technologie dont la forme finale dépend des interactions entre matériau, structure et stimulus. Le comportement des

polymères réactifs, les contraintes de fabrication et les imprévus liés au processus imposent une méthodologie flexible, capable d'accueillir l'erreur, l'ajustement et l'émergence.

Inspirée du modèle des cycles heuristiques de Paquin (2020), ma méthode suit une structure en quatre phases. C'est la formulation de la question de recherche-crédation, l'exploration et la production, la rédaction du récit de pratique, puis la synthèse et le réamorçage du cycle. Ce modèle soutient une progression ouverte, où chaque expérimentation devient un moment de réflexion et une source potentielle de réorientation. La documentation des essais, par des notes, des croquis et des captations, assure la continuité du processus et facilite la mise en relation entre la pratique et les cadres théoriques.

La posture adoptée dans mon projet reconnaît l'importance de la subjectivité du créateur-chercheur. Les sensations, les choix intuitifs, l'observation directe des transformations et le rapport sensible à la matière influencent les décisions prises à chaque étape. Bref, ce sont le geste, l'observation et la manipulation qui deviennent des instruments de connaissance. Cette implication personnelle n'est pas une limite, mais une composante épistémologique de la recherche-crédation. C'est ma connaissance qui se construit dans l'engagement corporel et dans l'expérience située du savoir-faire. La compréhension des matériaux s'est construite dans le contact direct avec la matière, dans la répétition du geste et dans l'attention portée aux réactions imprévues. Cette posture implique une implication corporelle et sensible dans le processus, reconnaissant que les décisions prises en cours de création émergent souvent d'une interaction entre intuition, expérience pratique et réflexion théorique.

Ainsi, l'approche méthodologique adoptée établit un cadre propice à l'exploration des possibilités de l'impression 4D, tout en offrant une structure souple pour articuler la pratique et la réflexion. Elle permet d'aborder la question de recherche de manière progressive, en accordant à la matière, aux gestes et aux itérations un rôle central dans la production de connaissance. Cette position méthodologique permet d'assurer pleinement le recherche-crédation comme un mode de production de savoirs ancré dans l'action.

3.2 MOYENS ET MÉTHODES POUR ATTEINDRE LES OBJECTIFS

La méthodologie employée dans mon projet repose sur un ensemble de moyens complémentaires qui soutiennent l'exploration, la production et l'analyse du processus créatif. Ces moyens permettent d'assurer une progression structurée tout en maintenant la souplesse nécessaire à une recherche-crédation fondée sur l'itération et l'ajustement continu.

3.2.1 MÉTHODES : PRATIQUE COMME CRÉATION, CYCLES HEURISTIQUES ET APPROCHE ITÉRATIVE

La pratique constitue le moteur principal de mon projet. Mes prototypes, essais et manipulations successifs servent à comprendre les propriétés des matériaux et à orienter les choix esthétiques et fonctionnels. Cette pratique est encadrée par les cycles heuristiques, qui organisent la démarche en séquences de formulation, exploration, récit et synthèse. Chaque cycle permet d'intégrer les observations issues de l'expérience dans les décisions suivantes, assurant une évolution continue du projet.

L'approche itérative permet de tester successivement différentes avenues, d'abandonner les pistes non concluantes et de retenir celles qui s'avèrent pertinentes. Ce mode de progression, fondé sur l'expérimentation, est essentiel pour travailler avec des matériaux réactifs. Les ajustements successifs deviennent ainsi des occasions d'apprentissage et des étapes clés du développement.

Chaque expérimentation était suivie d'une période d'observation, puis d'une analyse permettant d'identifier les ajustements nécessaires pour la prochaine étape. Ce cycle répétitif d'observation, d'analyse et d'ajustement a servi de base méthodologique pour affiner progressivement les concepts formels, techniques et fonctionnels. Il a permis de tester les limites des matériaux, de valider les idées émergentes et d'assurer que chaque décision de conception soit informée par des données concrètes issues de l'expérimentation.

3.2.2 DOCUMENTATION DU PROCESSUS : JOURNAL DE BORD, CAPTATIONS ET ESQUISSES

La documentation occupe un rôle central dans ma recherche. J'ai utilisé un journal de bord structuré pour permettre de consigner les observations quotidiennes, les paramètres techniques utilisés, les réactions des matériaux et les réflexions liées aux orientations du projet. Le tout est dans mon cahier de croquis et mes notes dans mon téléphone pour les moments où je n'y avais pas accès. Cette prise de notes soutient l'analyse de processus et rend possibles une compréhension fine des bifurcations et des décisions prises au fil du temps. Mes notes sont surtout descriptives des actions menées et des analyses lors des constats et quelques fois réflexives pour les choix conceptuels et esthétiques. Ce dispositif a servi à suivre l'évolution du projet en temps réel et à maintenir un dialogue constant entre les intentions artistiques et les découvertes matérielles.

Les photographies, croquis, captations vidéo et tableaux de classification ont complété cette documentation, permettant de retracer le cheminement méthodologique et de rendre visibles les transitions entre les cycles heuristiques. Elles permettent de suivre les transformations matérielles, d'observer l'évolution des prototypes et de conserver une trace des manipulations effectuées. Les esquisses, croquis et schémas viennent compléter ces documents en offrant un support visuel pour élaborer, comparer et ajuster les formes envisagées. Ensemble, ces outils créent un corpus riche qui alimente le récit de pratique et facilite la mise en dialogue entre théorie et création.

3.2.3 OUTILS, LOGICIELS ET MÉDIUMS MOBILISÉS

Plusieurs outils numériques et matériels ont été mobilisés afin de soutenir la conception et la fabrication des prototypes. Mon imprimante 3D Bambu Lab X1C a été utilisée pour sa précision, sa capacité à imprimer différents polymères et sa compatibilité avec des matériaux réactifs. Les filaments PLA, TPU et PLA réactifs aux UV ont été utilisés comme médiums principaux, en raison de leur accessibilité et de leur potentiel pour explorer les transformations 4D. Les logiciels de tranchage, principalement Bambu Studio et Cura, ont servi à ajuster les paramètres d'impression, tester des variations d'épaisseur et contrôler l'orientation des couches, élément essentiel pour l'impression 4D. La modélisation de mes prototypes a été effectuée sur l'application Sharp3D sur mon iPad. Cette

application me permet de concevoir depuis n'importe quel endroit et de travailler avec une grande précision, grâce à son interface conviviale. Le logiciel Fusion360 a aussi été utilisé dans des modèles en PIP. L'ensemble de ces outils a été intégré comme partie prenante de la méthodologie, non seulement pour la fabrication, mais aussi comme instruments d'observation et d'analyse.

Des outils traditionnels, tels que les carnets de croquis, crayons, marqueurs et un crayon 3D ont été employés pour la conception manuelle et la réalisation de maquettes rapides. L'intégration de ces médiums non numériques permettait d'esquisser rapidement des idées, de comprendre les volumes et de visualiser la structure du vêtement avant la modélisation numérique. La combinaison de ces outils, logiciels, imprimantes, matériaux et médiums analogiques, constitue un environnement méthodologique hybride où la technologie et le geste coexistent. Cette diversité facilite l'exploration et offre une variété de moyens pour répondre aux objectifs de la recherche.

3.3 CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES ET ÉPISTÉMOLOGIQUES

Ma recherche-crédation soulève des enjeux spécifiques liés à la position du chercheur, au statut des objets créés et à la nature même des connaissances produites. Sur le plan épistémologique, ma démarche reconnaît que la connaissance émerge autant du geste que de la réflexion. Le processus créatif devient un lieu de production de savoirs situés, ancrés dans l'expérimentation matérielle et dans l'attention portée aux réactions de la matière. Ainsi, l'approche mobilisée s'appuie sur une posture inductive et sensible, qui accorde une valeur égale aux découvertes techniques, aux déplacements conceptuels et aux intuitions issues du travail pratique.

Sur le plan éthique, ma méthodologie a été guidée par des principes de responsabilité matérielle et de transparence procédurale, mais avec mes biais. L'utilisation de technologies accessibles et de polymères abordables s'inscrit dans une volonté de réduire les déchets et de limiter la surconsommation de ressources. Le choix d'un prototypage modulaire et itératif a également permis de minimiser les pertes de matière en privilégiant des échantillons de petite taille et en optimisant les formes au fil du processus.

Un autre volet éthique concerne le rapport entre le chercheur et son objet de création. Puisque le vêtement est porté par le chercheur lui-même lors des tests d'adaptabilité et de confort, ma

démarche repose sur un engagement corporel qui évite toute implication de participants externes. Cette modalité limite les considérations liées au consentement ou à la protection des données, tout en rappelant que le corps du chercheur devient un outil d'observation réflexive. Cette position assumée renforce la dimension située de la recherche-crédation et souligne que l'expérience vécue du créateur fait partie intégrante du processus méthodologique.

Enfin, ces considérations éthiques et épistémologiques structurent la recherche en assurant une cohérence entre les moyens mobilisés, les valeurs défendues et les objectifs du projet. Elles soutiennent une démarche responsable, consciente de son empreinte matérielle et de son rôle critique face aux modèles dominants de production vestimentaire.

CHAPITRE 4

PRÉSENTATION DES CRÉATIONS ET RÉSULTATS

4.1 DESCRIPTION DE L'ŒUVRE ET PROTOTYPES RÉALISÉS

Cette section met en évidence l'ensemble de mes prototypes et de ma création, qui ont été réalisés dans le cadre de mon projet. Je vais présenter mes premières expérimentations jusqu'à la conception du vêtement final. L'objectif est de documenter chaque étape de la recherche matérielle et formelle, en explorant les principes de l'impression 3D et 4D.

Pour vous donner un aperçu, voici les grandes lignes des étapes :

1. Explorations, recherches et liste des matériaux - les tests de polymères populaires pour trouver avec quels matériaux je vais faire les prototypes
2. Prototypes structurels de ce qui existe et mes adaptations - conception de divers types et structures ressemblants des textiles
3. Assemblage et interconnexion des matériaux - développement du système d'emboîtement et la forme finale - partie 1
4. Explorations 4D - modèles capables de réagir à la chaleur et les rayons UV
5. Projet final - création du vêtement imprimé et sa forme finale - partie 2

Chaque étape a fait l'objet de plusieurs essais afin d'ajuster les paramètres d'impression, d'observer le comportement des matériaux et d'évaluer leur potentiel pour une application vestimentaire. Les résultats présentés ci-dessous illustrent à la fois les réussites, les limites et les bifurcations qui ont orienté ma démarche vers sa forme finale.

4.1.1 EXPLORATIONS, RECHERCHES ET LISTE DES CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

La première phase exploratoire m'a servi à rechercher divers matériaux accessibles et leurs comportements d'impressions. L'objectif est de mieux comprendre le comportement des matériaux

de base, tels que le PLA, PETG et TPU que j'utilise aux quotidiens dans mes conceptions. En plus, il y en a des plus chers, avec différentes caractéristiques et qui sont très spécialisés.

Cette phase m'a permis de documenter les différentes souplesses, d'adhérence, stabilité dimensionnelle et rigidité entre les matériaux. Cette recherche est en partie sur internet sur les sites web pour les caractéristiques des filaments et l'achat, tout comme faire un test d'impression en deux formes. Il y avait un hexagone ou un cylindre mince de 3 cm de diamètre avec une épaisseur de 1 mm à 2 mm, soit 5 à 10 couches d'impressions (figure 10). La seconde forme était un cube de 5 cm de côté et de 2 mm d'épaisseur, avec des parties creusées pour permettre une flexion, comme dans la figure 10. J'ai choisi ces formes pour économiser au maximum la matière, mais je me suis basé sur la réplcation des tissus qui sont en général très minces et flexibles. Je fais mes tests avec des ensembles d'échantillons des matériaux et tous les types de filaments que j'avais déjà avant de faire de gros achats.

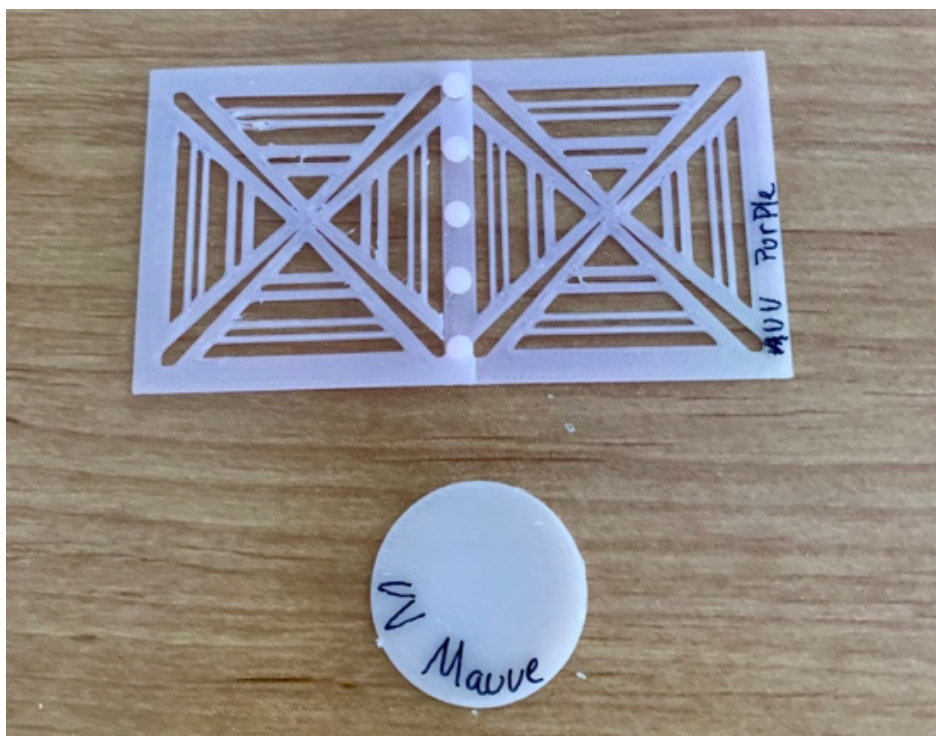


Figure 10 : recherche des matériaux © Ariane Michaud, 2024

Le PLA s'est révélé rigide et précis quand il est imprimé dans une pièce de plus de 2 mm d'épaisseur. Sa souplesse apparait dans une pièce mince permettant une flexion manuelle. Ainsi, son usage peut être limité si elle n'est pas dans une structure dynamique en PIP. Le PETG est simplement trop rigide et friable pour mon projet, en plus d'être plus limité dans les couleurs disponibles. Le TPU (figure 11) présente une variété de niveaux de souplesse, allant d'extrêmement mou, selon sa forme imprimée, à relativement rigide, semblable au PLA. Les plus courants sont dans un juste milieu avec une flexion quand la pièce n'est pas trop remplie à l'intérieur ou encore en couches minces. Il est le plus flexible et un peu élastique, mais il est plus difficile à imprimer avec que les autres matières.

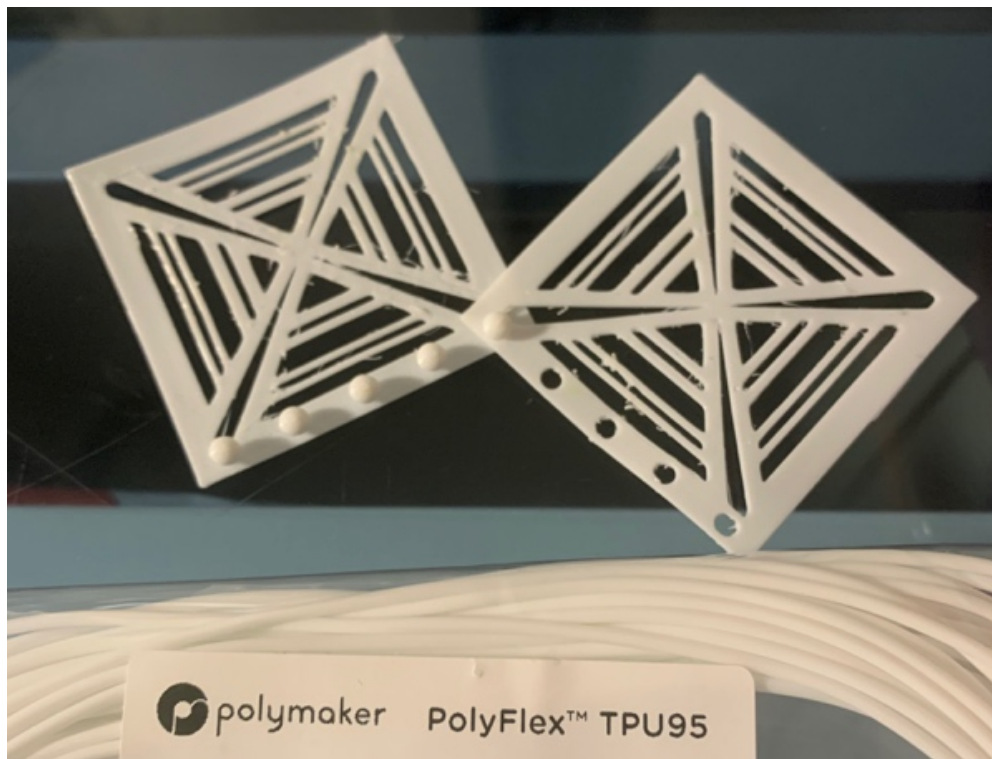


Figure 11 : recherche de matériaux TPU © Ariane Michaud, 2024

J'ai aussi essayé des filaments ASA, ABS, PA, PPS, PC et CoPA qui sont tous plus dispendieux et requièrent une bonne ventilation. Ils ont aussi besoin d'être chauffés à des températures plus élevées. J'ai pu faire ces impressions, car mes imprimantes Bambu Lab X1C sont adaptées, fermées et dans un atelier ventilé. Ils sont tous très rigides avec une adhérence

impeccable, mais ils sont simplement juste trop chers pour être utilisés pour plein de prototypes de travail et échantillons.

Chaque impression a été faite selon les paramètres optimaux des filaments sur la même imprimante. Tout dépendant des filaments, la plaque d'impression a été changée pour fonctionner avec chaque matériau. Exemple, le TPU et le PETG ont besoin d'une plaque lisse, mais le PLA peut être imprimé sur surface lisse ou texturé. La plaque transfère son effet sur la face du dessous de la forme imprimée. Tous mes résultats sont répertoriés dans un tableau avec tous mes filaments imprimés et caractéristiques disponible dans l'annexe 1.

Cette étape, bien qu'elle soit très technique, constitue un moment crucial pour mieux comprendre la matérialité utilisée pour commencer à dessiner et concevoir des prototypes. Elle m'a permis de tisser des liens entre la connaissance empirique et mon geste créatif. Par exemple, c'est l'observation des modifications des températures sur les filaments ou de l'épaisseur des impressions pour transformer la souplesse. Ces constats et listes me servent de fondements pour mon projet qui oriente l'utilisation et choix des matériaux, tout comme la forme du vêtement. À ce stade, la conception du vêtement est encore vague quant à la partie du corps qu'il couvrira.

4.1.2 ÉTUDE DES PROTOTYPES EXISTANTS ET TRANSFORMATIONS APPORTÉES

Avant de me lancer dans le développement de mes prototypes, j'ai fait le tour des sites web regroupant des fichiers d'impressions 3D pour imprimer des modèles faits par d'autres créateurs, tels que thingiverse.com, cults3d.com, printables.com, myminifactory.com, makerworld.com et thangs.com pour nommer les plus connus. L'objectif ici était d'établir une base permettant d'identifier les caractéristiques techniques pertinentes, intéressantes, utiles ou moins adaptées pour le développement de mes prototypes. Ce sont des impressions classées comme textiles, chaîne de maille, dentelle et surtout PIP (*Print-in-place*).

Pour organiser les données collectées, j'ai fait une autre page dans mon tableau, disponible en annexe 1. Chaque prototype identifié a été classé selon plusieurs critères, notamment la flexibilité, la durabilité, l'assemblage, la facilité d'impression et l'esthétique. Un code de couleur a été appliqué durant l'impression pour faciliter la visualisation et permettre une analyse comparative rapide entre

les différentes options. Compris entre le jaune, vert et orange, chaque catégorie est une famille d'assemblage et/ou partage un principe d'assemblage. L'orange est la cotte de maille (figure 12), le vert est un principe de penture majoritairement PIP (figure 13) et le jaune est la dentelle/tissus imprimée en PLA (figure 14). À première vue, ceux oranges et verts sont dans le même style en PIP, *print-in-place*. Chaque petite pièce est interreliées lors de l'impression. Ainsi, le résultat forme une pièce modulaire similaire à des textiles dans le contexte de mon projet. Ils peuvent aussi simplement être des parties qui bouge tout en restant imbriquées. Ceux oranges sont aussi des PIP, mais ils sont connus pour être des cottes de maille. Ceux verts sont tous les autres structures en PIP. Ce système de classification a permis non seulement d'identifier les prototypes les plus prometteurs pour faire progresser le projet, mais aussi de servir de référence pour déterminer quelles technologies et quelles méthodes seraient les plus appropriées pour les prochaines phases de développement.

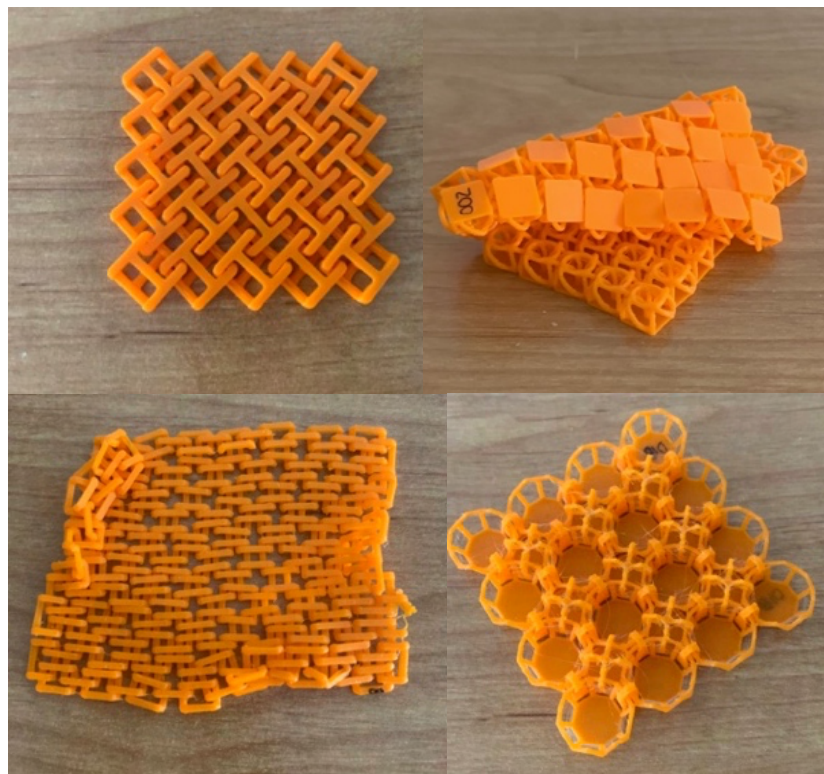


Figure 12 : Prototypes oranges en cottes de maille © Ariane Michaud, 2024

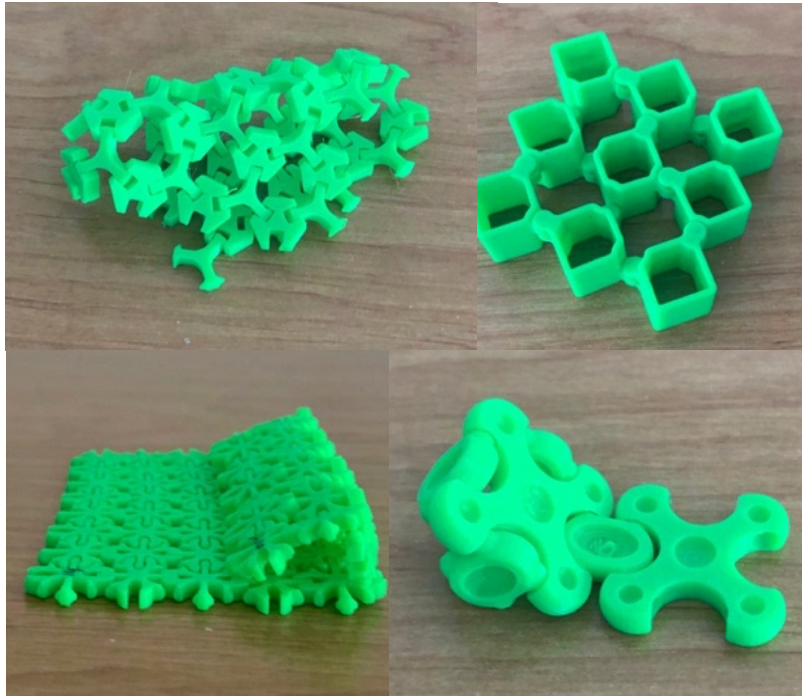


Figure 13 : Prototypes verts en impression *Print-in-place* © Ariane Michaud, 2024



Figure 14 : Prototypes jaunes ressemblant de la dentelle © Ariane Michaud, 2024

Ainsi, les catégories identifiées en vert et orange, bien que largement représentées dans les projets existants, ont été mises de côté. Ces catégories, bien que populaires, présentaient des défis significatifs, notamment en ce qui concerne la création de motifs répétitifs nécessaires pour

assembler des pièces de manière cohérente. De plus, ces prototypes qui avaient un effet plus 3D, mais moins structurant, ne convenaient pas au type de conception visée par mon projet. Je vise ce qui nécessite un contrôle plus précis de la structure et de la fonction des vêtements. C'est pourquoi mon attention s'est portée sur la catégorie jaune, qui permet de concevoir des modèles plus plats et structurés avec seulement quelques couches de matériau. C'est la plus prometteuse pour l'avancement du projet, notamment en facilitant l'assemblage à plat. La recherche de modèles d'assemblage à plat s'est donc intensifiée, intégrant à la fois des concepts issus de projets 4D existants dans d'autres matériaux et des pièces d'assemblage conçues pour permettre une reproduction à grande échelle. Ces modèles ont été sélectionnés pour leur potentiel à offrir une combinaison idéale de flexibilité et de facilité d'impression, tout en permettant une adaptation structurée idéale pour permettre ma propre conception.

Par la suite, mon projet a d'abord progressé vers la phase de conception des croquis pour les formes destinées à s'assembler de manière répétitive. Plusieurs concepts ont été esquissés, chacun cherchant à optimiser la facilité d'assemblage et la cohérence du design. Parmi les designs envisagés, celui qui s'est révélé le plus efficace était une forme inspirée des trous pour boutons de chemise comme on voit sur la figure 2 (page 39). Cette forme plate, basée sur la pièce carrée des tests initiaux, permettait un assemblage en série tout en garantissant une solidité et une flexibilité adaptées à un vêtement évolutif. En revanche, un autre design, circulaire en forme de beigne, n'a pas donné les résultats escomptés (figure 15). Bien que cette forme offrît un certain potentiel esthétique, elle s'est avérée trop rigide, compliquant l'assemblage en répétition. De plus, elle manquait de points d'accroche efficaces, ce qui la rendait peu pratique pour une utilisation fonctionnelle et répétée dans la structure du vêtement.



Figure 15 : prototype de beigne © Ariane Michaud, 2024

Des essais sur des échantillons de TPU, un matériau flexible bien adapté pour les courbes du corps pour un vêtement ont été faits pour la même utilisation. L'expérimentation avec le TPU a consisté à soumettre des échantillons imprimés à une série de tests avec différents épaisseurs et motifs. Cela permet d'identifier ceux qui présentent les meilleures propriétés pour l'adaptabilité et la durabilité du vêtement. Ici, on retrouve l'assemblage initial en bouton de chemise avec des pièces mâles et femelles. Ceci n'est pas concluant pour avoir un assemblage répétitif, mais le TPU est un meilleur matériau pour sa flexibilité sur le corps (figure 16).

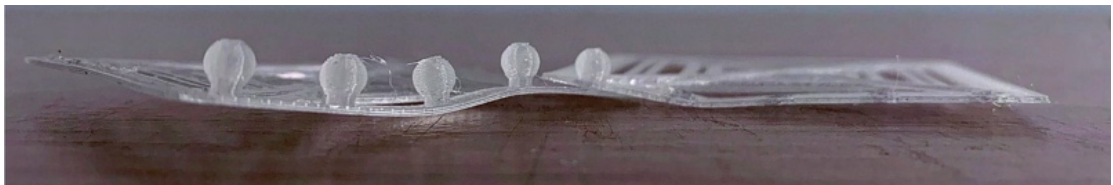


Figure 16: Prototype de bouton de chemise en TPU © Ariane Michaud, 2024

J'ai aussi exploré la conception et le design de pièces auxétiques¹ en TPU et PLA (figure 17) connues pour leurs propriétés uniques d'expansion sous tension (Kolken & Zadpoor, 2017). Ces structures sont particulièrement intéressantes pour leur capacité à combiner différentes matières dans les couches, ce qui pourrait théoriquement améliorer l'adaptabilité et le confort du vêtement. Les motifs auxétiques offrent des avantages significatifs en termes de flexibilité et d'ajustement, rendant les vêtements plus conformes aux mouvements naturels du corps. Cependant, malgré leur potentiel, ces pièces auxétiques présentaient un défi majeur, car elles n'incluaient pas de mécanisme d'assemblage intégré. Sans une méthode claire pour attacher ces pièces de manière répétitive et cohérente, leur utilisation dans le cadre du projet s'est avérée limitée. Cette limitation a conduit à réévaluer leur rôle dans la conception finale, tout en continuant à explorer d'autres options pour l'assemblage et l'intégration de ces motifs dans des designs plus complexes.

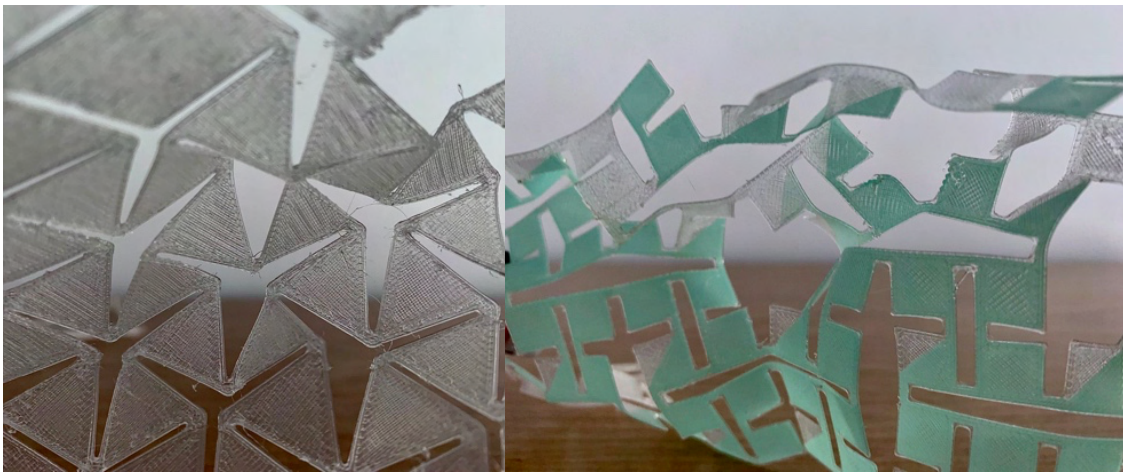


Figure 17 : Prototypes auxétiques © Ariane Michaud, 2024

¹ Auxétiques : Un matériau ou une structure auxétique est une forme qui possède un coefficient de Poisson négatif. Cela signifie qu'au lieu de s'amincir lorsqu'on l'étire, comme la plupart des matériaux, il s'élargit dans toutes les directions. De même, lorsqu'on le comprime, il se contracte simultanément, renforçant sa densité.

Dans le contexte de l'impression 3D, une structure auxétique n'est pas un matériau en soi, mais une géométrie particulière (cellules, motifs, réseaux) programmée pour produire ce comportement mécanique. Ces pièces imprimées permettent d'obtenir des surfaces flexibles, extensibles et résistantes, capables d'épouser la forme du corps ou d'absorber les déformations sans casser. Ce type de structure est souvent utilisé dans la mode expérimentale et le design textile numérique, car il offre une modularité accrue, une adaptation morphologique et une déformation contrôlée difficile à obtenir avec des textiles traditionnels.

Kolken, H. M. A., & Zadpoor, A. A. (2017). *Auxetic mechanical metamaterials*. RSC Advances, 7, 5111–5129

4.1.3 ASSEMBLAGE ET INTERCONNEXION DES MATÉRIAUX

À la suite de cette réflexion, le projet a revisité une pièce découverte lors de la phase d'exploration des modèles existants, soit une pièce carrée aux coins arrondis qui ressortent. La pièce créée est carrée formée de fentes, avec des coins insérables et pointus arrondis, tout compris dans la forme, initialement conçue en PLA (figure 18). Ce design particulier offrait un potentiel intéressant pour l'assemblage modulaire, car les coins pointus arrondis permettaient une insertion stable dans les fentes d'autres pièces similaires, formant ainsi une structure répétitive cohérente. Pour évaluer davantage les possibilités de cette pièce, différentes épaisseurs ont été produites en PLA afin de tester sa flexibilité et sa robustesse. J'ai décidé de faire les mêmes prototypes en TPU et le résultat est plus concluant même si certaines pièces ont eu des problèmes d'adhérences (figures 19 et 20). L'articulation et la flexibilité dans les pièces permettent de mieux s'adapter aux courbes du corps, surtout pour la jonction sous le bras et l'épaule. J'ai repris le modèle de boutons de chemise pour assembler les deux types de pièces, soit celle en TPU et en PLA (figure 20). Sur la pièce en TPU, j'ai ajouté dans le centre un bouton en sphère, un prisme pyramidal, un cône inversé et un cylindre ressemblant à un bouton sur quatre pièces. Sa position centrée permet de ne pas être dans le chemin des assemblages des pièces.

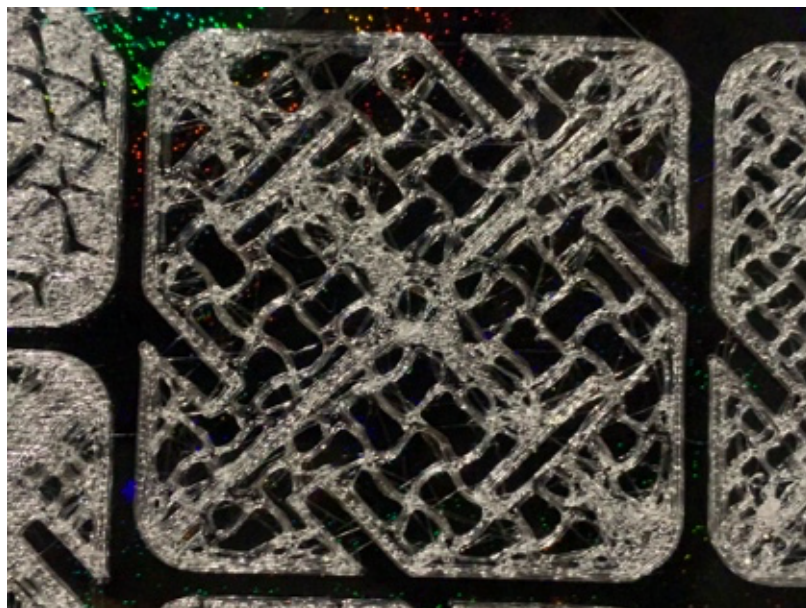


Figure 18 : Prototype TPU, sans bouton © Ariane Michaud, 2024

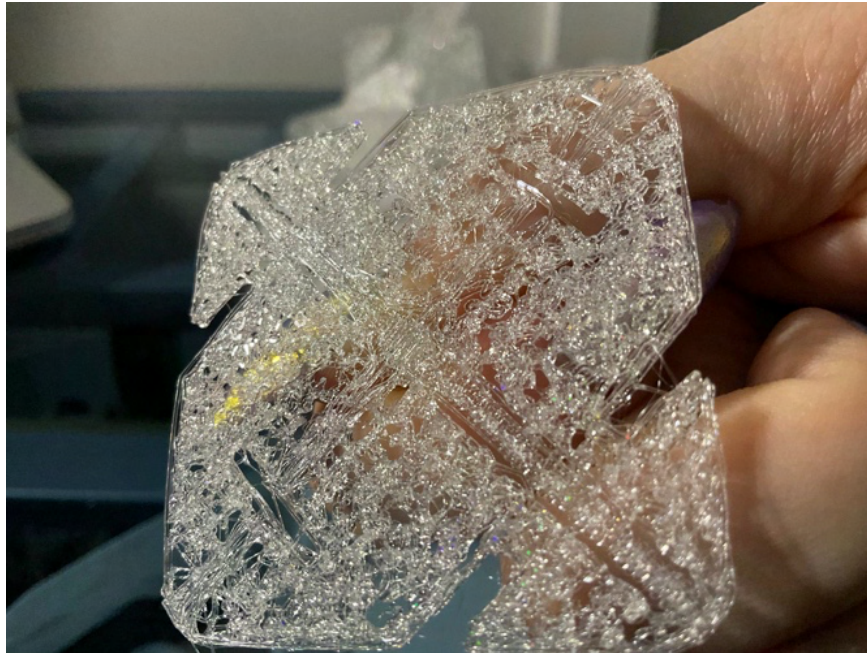


Figure 19 : Prototype TPU, mauvaise adhésion et qualité de la matière © Ariane Michaud, 2024



Figure 20 : Prototypes TPU ² © Ariane Michaud, 2024

² Avec des boutons et d'autres formes non retenues à une couche. Ce sont de mauvaises impressions, car le bouton n'a pas adhéré à la base.

J'ai aussi travaillé sur la conception des trous sur la pièce PLA en variant à la fois leur épaisseur (figure 21) et leur taille pour assurer un assemblage efficace sans rotation. La fente en ligne classique sur une chemise n'est pas une bonne option, car le PLA a des chances de se fissurer lors de l'insertion. Ainsi, pour prévenir la fissure, j'ai pensé à l'ajout d'une fente perpendiculaire. La forme « + » fonctionne bien, mais elle est trop serrée. Donc, il faut avoir un trou au centre de la fente. Après plusieurs essais de la taille du trou, la meilleure option est un mélange du « + » et un trou ressemblant à une étoile à quatre branches. Cette méthode a optimisé la prise entre les pièces, garantissant une connexion stable sans risque de bris.



Figure 21 : Attache en forme de +, pièce supérieure © Ariane Michaud, 2024

À la suite de ces expérimentations, j'ai réalisé des croquis détaillés pour visualiser le vêtement final. Ces dessins exploraient plusieurs pistes, allant de souliers à des ensembles complets, en passant par des pièces destinées à la partie supérieure du corps (figure 22). Parmi ces propositions, ce dernier type de vêtement s'est rapidement imposé comme le plus prometteur en raison de son potentiel à révéler de manière spectaculaire les formes et les textures générées. Cette zone, avec sa structure naturellement plus rigide et ses surfaces variées, constitue une toile particulièrement propice pour mettre en valeur les transformations dynamiques permises par les matériaux réactifs. Mes croquis ont également approfondi la manière dont les différentes sections pourraient interagir, notamment à travers des principes de pliage, de rotation et d'emboîtement issus des phases d'expérimentation (figure 23).



Figure 22 : Croquis initiaux du vêtement en couleur © Ariane Michaud, 2024



Figure 23 : Croquis du haut du corps du vêtement non finaux © Ariane Michaud, 2024

Par la suite du choix final du croquis (figure 24), un modèle réduit a été créé pour matérialiser la vision du produit final. Ce modèle 3D a été conçu en utilisant du filament PLA et un crayon 3D, permettant de traduire les concepts sur papier en une forme tangible. J'aurais pu le modéliser en 3D sur un logiciel, mais j'ai décidé d'utiliser mes compétences de sculptrice à la place. L'ajout de matière du modèle est plus rapide que le modéliser et imprimer.

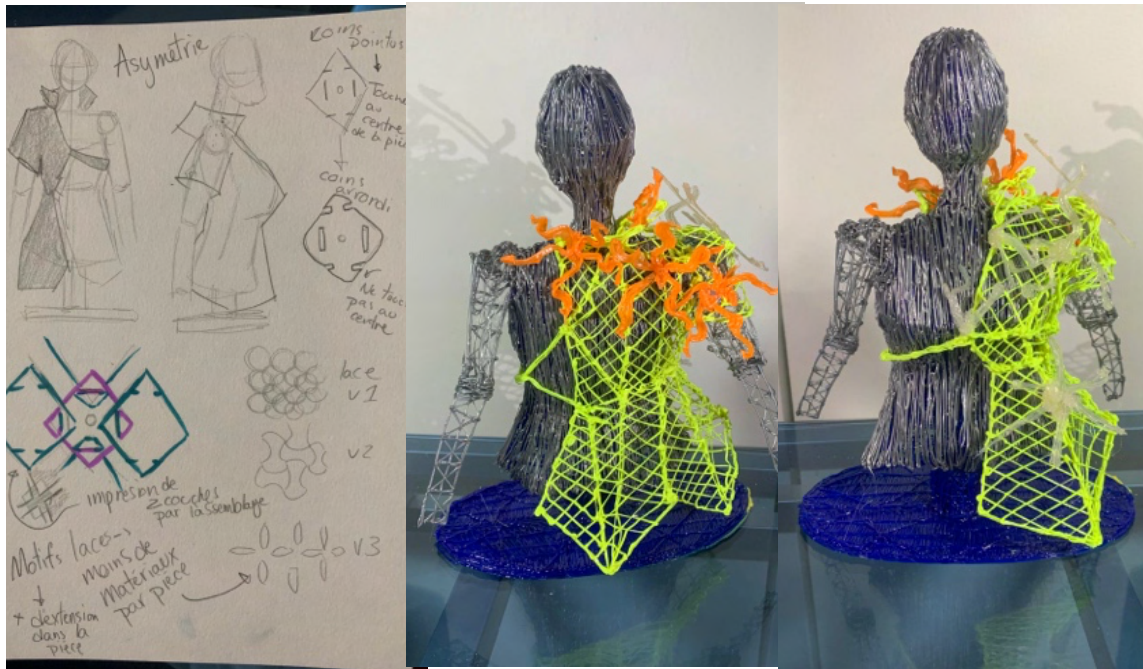


Figure 24 : Modèle réduit et croquis du projet final © Ariane Michaud, 2024

4.1.4 EXPLORATIONS 4D

Le processus commence par des essais sur des échantillons de matériaux réactifs, afin d'observer et de comprendre leur comportement en réponse à divers stimuli externes, tel que la chaleur et les rayons UV. Ces expérimentations visent à comprendre les propriétés et les comportements des matériaux sous divers stimuli. Par exemple, les échantillons en PLA ont été exposés à des cycles de chauffage et de refroidissement. Cela permet d'observer leur capacité à changer de forme et à se rigidifier, ainsi qu'à des rayonnements UV pour évaluer leur résistance et leur durabilité à long terme.

Au cours de ces essais, les filaments réactifs à la température, qui changent de couleur en fonction de la chaleur, ont également été testés. Ces matériaux, initialement colorés de manière vive, comme en mauve, en noir ou en gris foncé, deviennent plus pâles à mesure que la température

augmente, ce qui les rendait moins adaptés aux objectifs esthétiques du projet. En effet, cet effet de décoloration inverse allait à l'encontre du comportement recherché, où les couleurs deviennent plus vives sous l'effet des stimuli de la chaleur. À l'inverse, les filaments réactifs aux rayons UV, qui passent du blanc à des couleurs éclatantes, comme l'orange ou le mauve lorsqu'ils sont exposés au soleil, se sont avérés beaucoup plus prometteurs pour la création de vêtements qui répondent activement aux changements environnementaux tout en offrant un impact visuel fort. Cette différence de comportement a conduit à l'écartement des matériaux réactifs à la chaleur au profit de ceux réagissant aux UV, mieux adaptés à la vision esthétique et fonctionnelle du projet. Ainsi, le choix du matériau réactif a été décidé sans savoir la forme du design final pour son intégration.

La manière la plus simple pour avoir une déformation du PLA avec la chaleur est s'il est très mince. Je parle ici de 1 à 5 couches d'épaisseur d'impression équivalentes à moins de 2 mm. Sachant qu'une couche d'impression ne se tient pas parfaitement dans tous les PLA, j'ai opté pour des tests de grandes et longues formes de 2 à 5 couches d'épaisseur. Les prototypes ont pris une tournure le temps d'une dérive créative qui a servi à mieux comprendre l'effet des pièces déformantes. C'est une nouvelle étape qui a été franchie avec le développement de la « rose/fleur », un modèle plus complexe intégrant des matériaux réactifs. C'est un développement apparu à la suite de la dérive créative expliquée au chapitre 4.3 en quatrième essais.

C'est une manipulation plus ciblée du pli lors de l'application de chaleur. Cette conception a permis de diriger le pliage vers des zones spécifiques, en utilisant les variations d'épaisseur pour créer des courbes et des formes plus complexes. Le centre épaissi agit comme un point d'ancrage, tandis que les bords plus fins permettent une flexibilité accrue. Ce modèle de rose/fleur a ainsi démontré le potentiel de l'impression 4D pour produire des formes réactives et esthétiquement plaisantes, tout en offrant une fonctionnalité grâce à un contrôle précis du pliage et des transformations thermiques.

Donc, les prochains prototypes sont basés sur l'équivalent d'un pétale et non trois. Pour avoir un effet plus prononcé de la déformation et plus de variantes, j'ai allongé la forme. Les longueurs étaient entre 10 cm jusqu'à 35 cm. J'ai aussi varié la forme tout en conservant les différentes hauteurs de couches. Ainsi, il y avait le modèle original, une en forme de banane, le triangle, la flamme plus

ou moins courbée et l'ellipse. Les tests ont été réalisés sur ces différentes formes en ajustant la taille, l'épaisseur, et le pliage, pour assurer la cohérence avec les expérimentations antérieures. J'ai choisi la forme de flamme (figure 25) qui a été retenue en raison de ses plis originaux et de son encombrement réduit, bien adapté à la morphologie du porteur. L'effet de déformation la moins contrôlée, mais qui donne le plus de variantes était la flamme moins courbée (figure 26). Ça donne un effet de hasard où on ne sait pas comment ça va réagir concrètement, mais aussi organique comme de vraies flammes. Les autres formes n'avaient juste pas l'effet estimé et organique que je cherchais. Pour revenir à la longueur, le choix final mesure 27 cm et deux pièces sont capables d'être imprimées sur le même plateau.

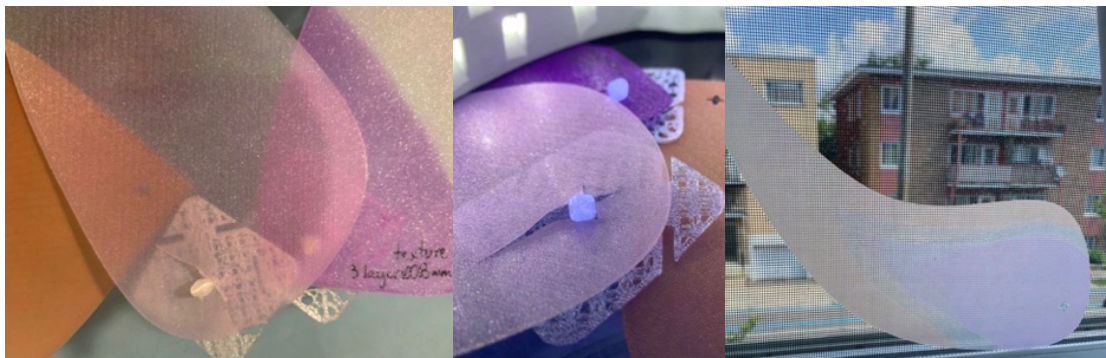


Figure 25 : Prototypes de PLA réactif aux rayons UV et la chaleur © Ariane Michaud, 2024



Figure 26 : Plis non contrôlé sur le PLA réactifs © Ariane Michaud, 2024

4.1.5 PROJET FINAL

En ce qui concerne les éléments finaux, je considère les pièces en TPU comme étant de niveau inférieur et celles en PLA comme étant de niveau supérieur. « Inférieure » veut simplement dire « près du corps » et « mâle ». « Supérieure » est la pièce en 4D qui se fixe sur celle en TPU et qui est la pièce femelle (figure 27). Sur le plan technique, le vêtement est composé de modules articulés, imprimés séparément puis assemblés manuellement. Chaque module intègre une variation d'épaisseur et une direction d'impression contrôlée afin de générer des déformations ciblées sous l'effet de la chaleur. Sur le plan esthétique et conceptuel, la pièce prend une forme d'un vêtement sculptural qui s'active partiellement sous une source thermique. Elle met en scène la transformation comme langage, évoquant la capacité du vêtement à évoluer dans le temps et s'adapter à son environnement. La structure visible des modules, les strates d'impression et les variations de matières sont volontairement conservées afin de rendre lisible le processus de fabrication.

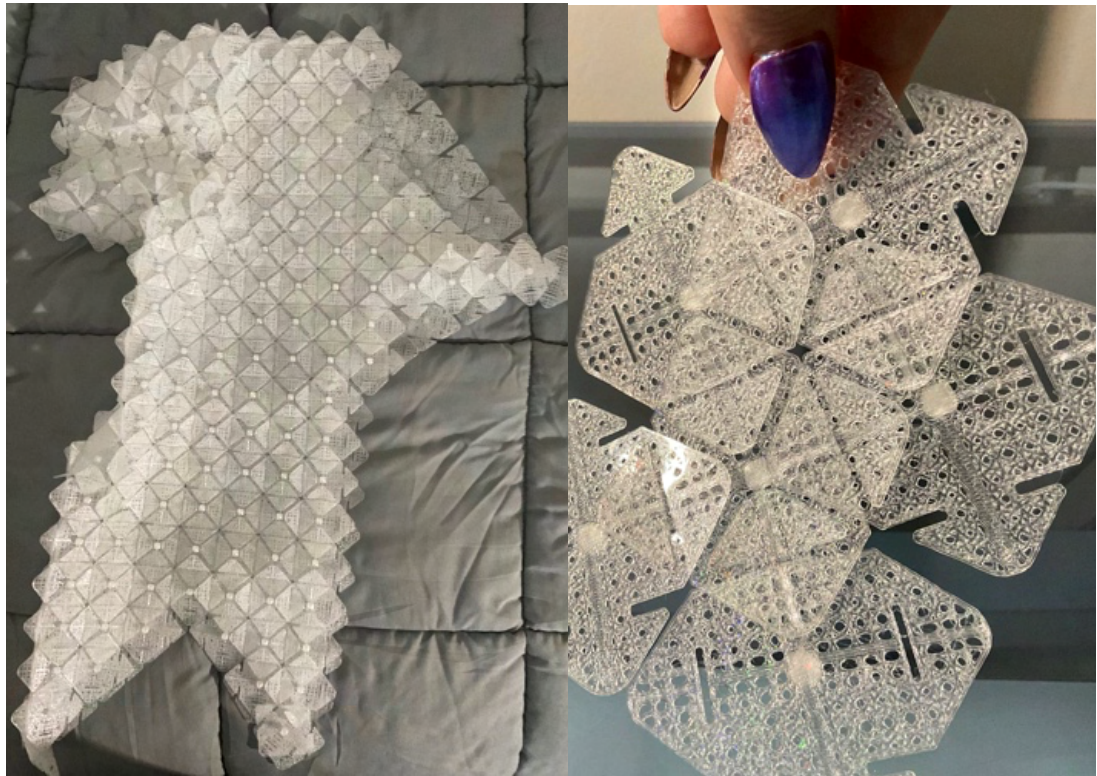


Figure 27 : Projet final, pièces inférieures en TPU © Ariane Michaud, 2024

Le projet est un vêtement 4D asymétrique à l'allure dystopique, qui s'inscrit dans un style avant-gardiste souvent vu dans les grands défilés de mode expérimentale. Pour le design final, la pièce inférieure est dotée d'un motif en dentelle, combinant légèreté et robustesse. Bien que ce motif apparaisse fin et délicat, il s'est avéré exceptionnellement résistant avec une structure renforcée, tout en nécessitant moins de matière. Ce design a permis de rendre l'assemblage plus léger et plus flexible, essentiel pour des vêtements fonctionnels et confortables. Elle répond également aux critères de durabilité et d'efficacité. Le tout permet une réduction du poids tout en préservant les propriétés flexibles nécessaires au vêtement. Les pièces sont imprimées en TPU translucide, tout comme en blanc et noir dans une version 2 (figure 28). La couleur translucide permet d'avoir un effet plus fantôme et de mieux voir la forme entrelacée. Le TPU noir, qui est réactif à la chaleur du corps ou au contact des pièces inférieures, possède également un effet réactif qui entraîne une autre perspective.

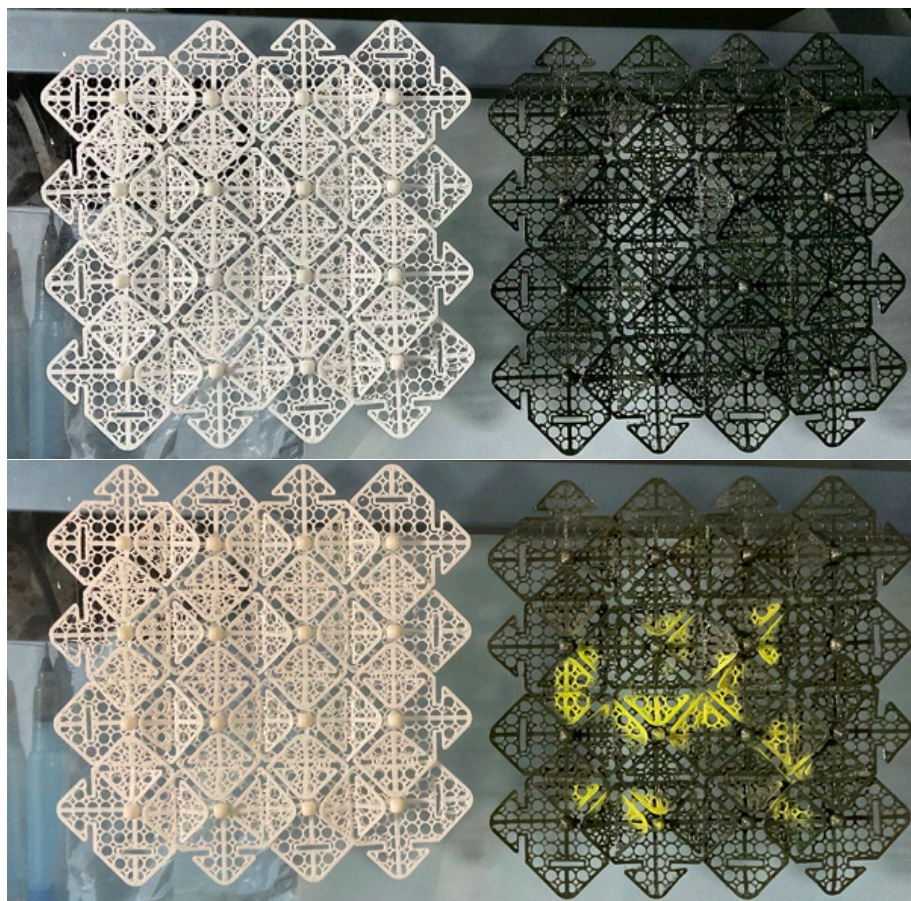


Figure 28 : Version 2 des pièces en TPU du projet final © Ariane Michaud, 2024

La pièce supérieure a été imprimée en s'inspirant du concept de la rose/fleur, avec un centre plus épais. Le résultat est une flamme en 2D composée de trois hauteurs de couches distinctes, chacune d'entre elles étant imprimée au-dessus des autres, mais en changeant la couleur de la matière (figure 29). Vu que la pièce est blanche, sans la réaction à la chaleur et UV, on a l'impression qu'elle est d'une seule couleur. Cette pièce est facile à l'imprimer à répétition avec le changement de couleur grâce au système automatique (AMS) de mon imprimante. Je n'ai pas besoin de me soucier de changer la bobine à chaque changement de couleur sur chaque pièce.



Figure 29 : Projet final, pièces supérieures en PLA réactifs attachées sur le TPU © Ariane Michaud, 2024

J'ai assemblé le vêtement inférieur et il pèse 600g (figure 30). Il manque encore les 100 pièces de formes supérieures en PLA prêtes (figure 31 et 32). Il ne reste plus qu'à assembler les pièces entre elles, toutes orientées vers le haut. Cette orientation optimisera le pliage lors d'une exposition prolongée au soleil.

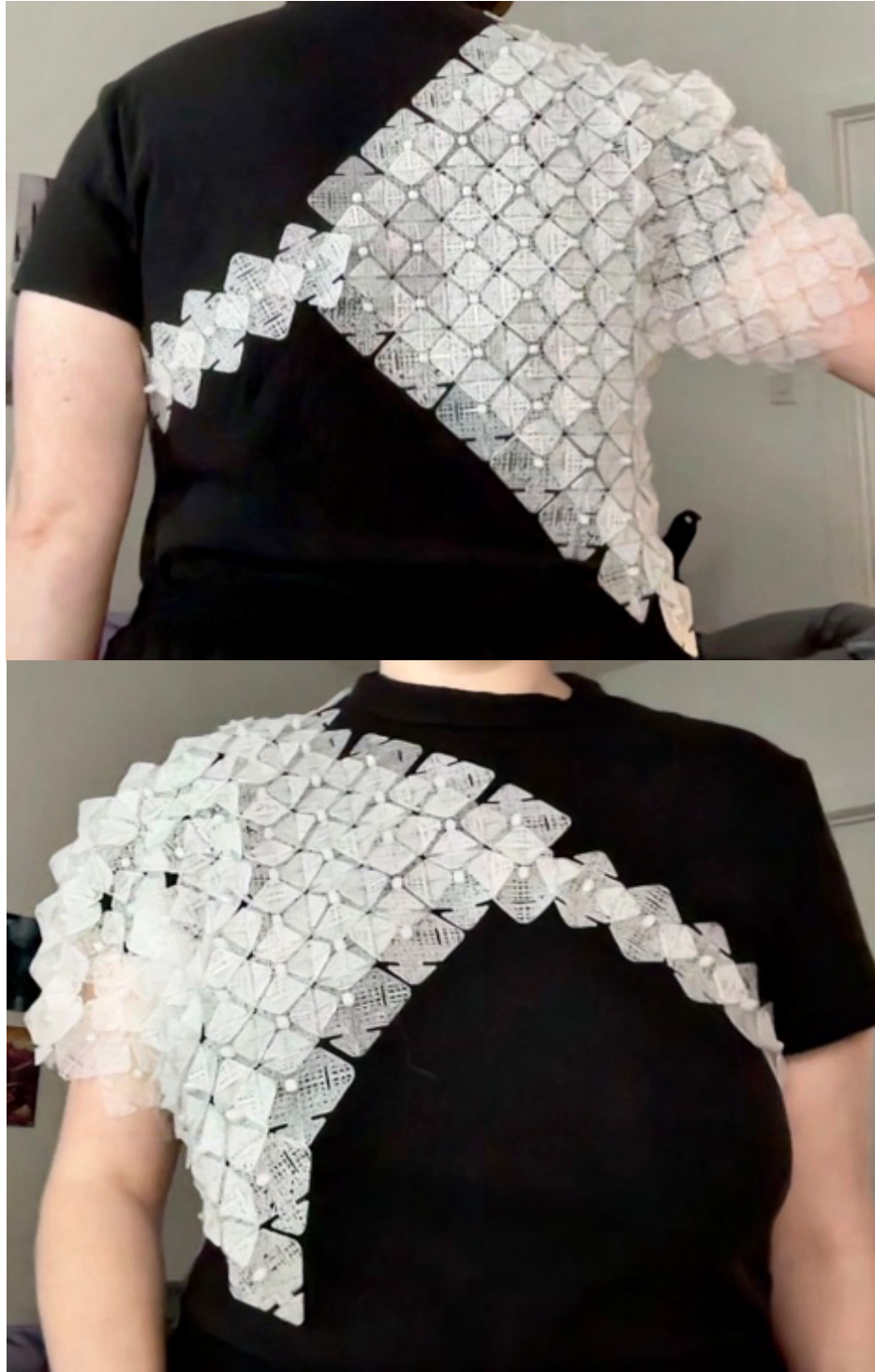


Figure 30 : Assemblage du projet final, section en TPU © Ariane Michaud, 2024

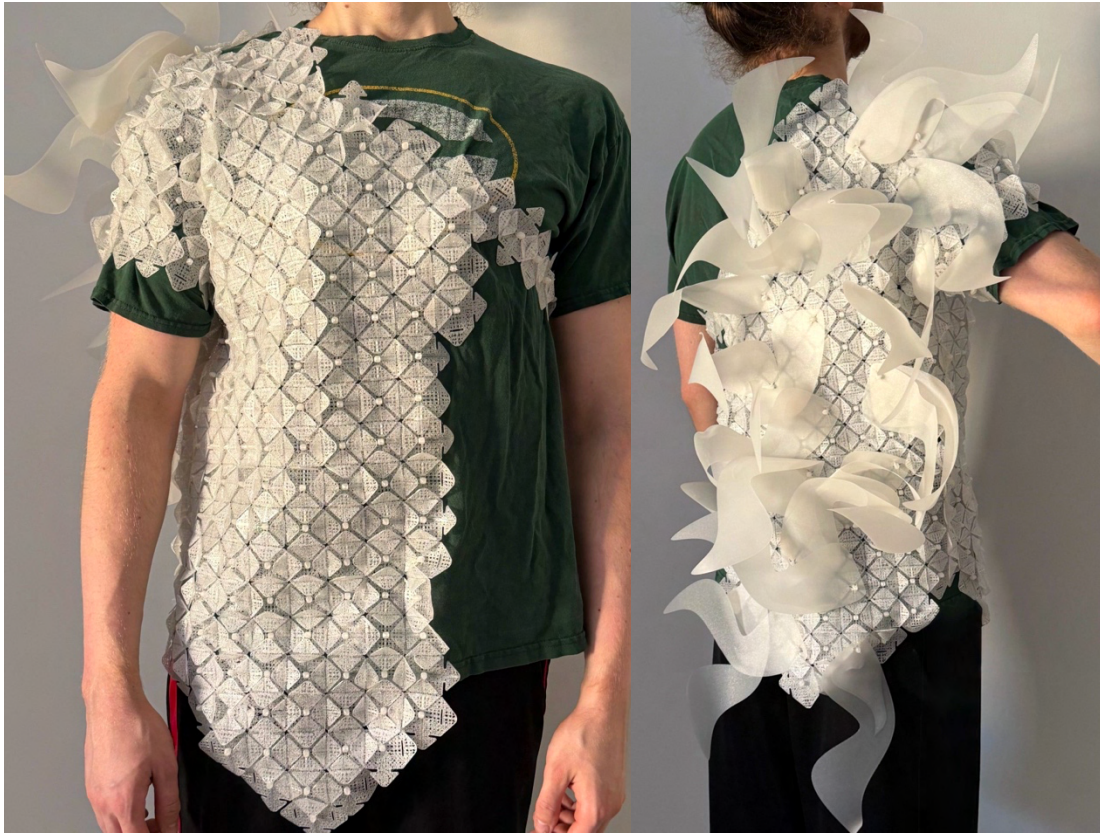


Figure 31 : Projet final assemblé, vue de face et arrière © Ariane Michaud, 2025

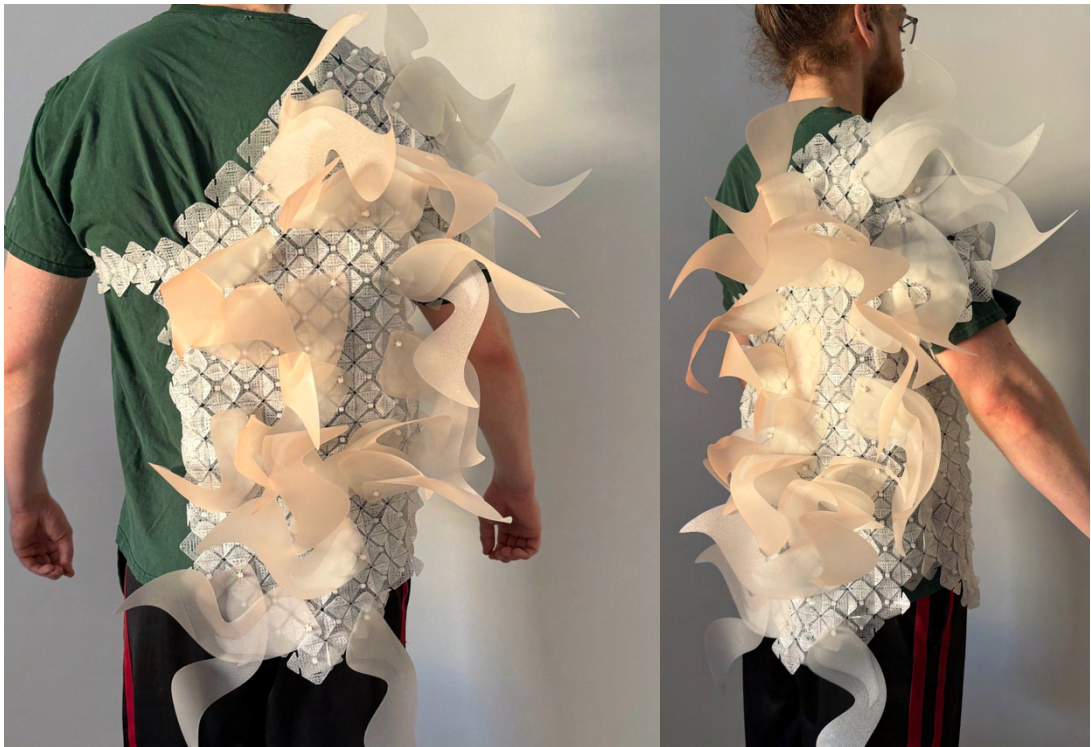


Figure 32 : Projet final assemblé, vue arrière activé par lumière UV © Ariane Michaud, 2025

Avant et après l'activation en vidéo : <https://youtube.com/shorts/UKRLbPh9yqM?feature=share>

4.1.6 L'ŒUVRE : PARADOXE DE DENTELLE

Mon projet se démarque par sa riche poésie visuelle et conceptuelle. La création de l'œuvre « Paradoxe de Dentelle » s'appuie sur l'association de matières réactives et des technologies sophistiquées d'impression 4D, ce qui permet de concevoir un habit qui allie fonctionnalité et esthétique. Cette pièce représente un contraste marquant entre la finesse visuelle de la dentelle et la solidité technique des matériaux employés. La poésie du projet se trouve dans cette paradoxalité : la dentelle représente le raffinement et la fragilité, alors que les matériaux réactifs et les technologies d'impression 4D traduisent la solidité et la capacité d'adaptation. Ainsi, le vêtement se présente comme une incarnation concrète de cette dichotomie, où la légèreté manifeste cache un système complexe qui peut réagir et évoluer. Traditionnellement considérée comme un matériau fragile, la dentelle est ici revisitée grâce à l'emploi de polymères intelligents et réactifs qui changent de forme en réponse à des stimuli externes. Cette option offre la possibilité de réaliser des transformations dynamiques, où l'habit se transforme en un élément vivant et évolutif.

« Paradoxe de Dentelle » allie l'art ancestral de la dentelle aux techniques de production contemporaines, invitant à réfléchir sur les possibilités offertes par l'impression 4D dans le domaine de la mode, tout en proposant une option alternative aux méthodes conventionnelles de fabrication textile. L'emploi du mot « Paradoxe » renforce cette pensée en conférant une dimension philosophique à l'habillement, insinuant que l'innovation technique peut se manifester sous des formes esthétiques et poétiques, fréquemment liées à la tradition. Chaque geste, chaque métamorphose du tissu face à la chaleur ou à la lumière engendre une conversation muette entre l'utilisateur et son environnement, où le mariage de la technologie et de l'art manifeste l'évolution perpétuelle. Par conséquent, le vêtement ne se limite pas à offrir une protection ou à habiller, il narre un récit, celui de la métamorphose et de l'interaction vivante avec le monde extérieur. Ainsi, l'essence poétique du projet ne se limite pas à l'aspect visuel, mais s'étend aussi à la notion que le vêtement

peut être un miroir dynamique de celui qui le porte, tout en étant en constante évolution. Cela fait fortement écho à l'idée d'une mode plus durable et sur mesure, où les articles sont conçus pour évoluer et se régénérer tout en préservant leur nature poétique et esthétique.

4.2 DÉRIVES

Une dérive parallèle du prototypage en impression 4D a porté sur la conception de formes organiques imprimées, dans le but d'explorer des principes d'assemblage combinant TPU et PLA. Cette exploration a permis de tester quatre mécanismes distincts d'emboîtement et de transformation thermique, chacun apportant des informations pertinentes pour la création de structures modulaires adaptatives.

Le premier mécanisme reposait sur une tige circulaire insérée dans un orifice légèrement plus étroit (figure 33). Ce système offrait un glissement fluide entre les pièces, mais ne procurait pas une fixation stable, ce qui limitait son utilité pour des structures nécessitant maintien et solidité.

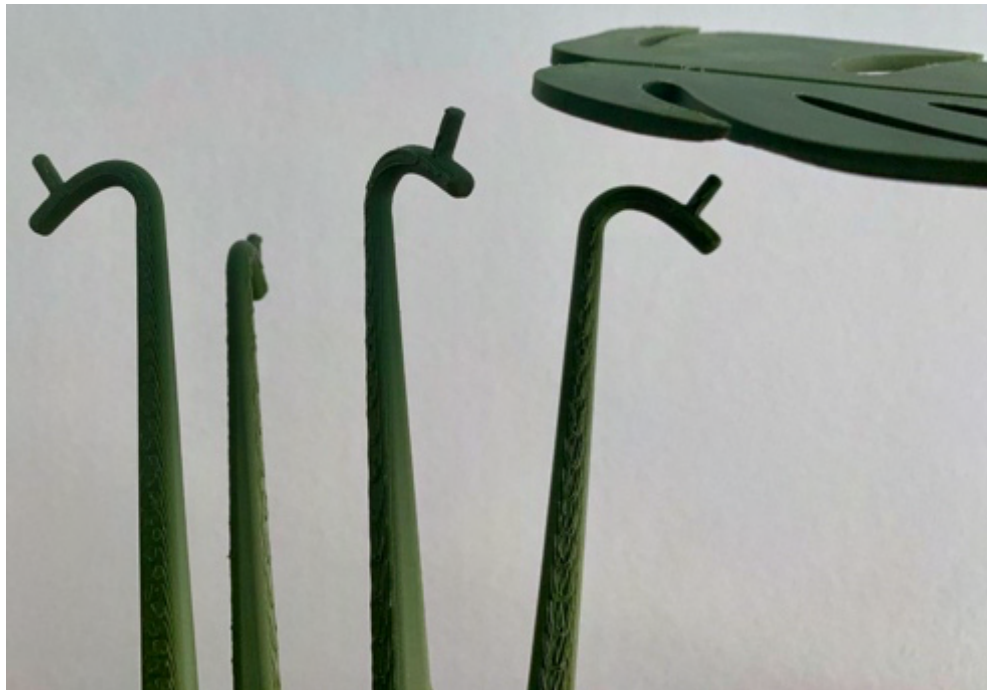


Figure 33 : Dérive 1, attache tige-trou © Ariane Michaud, 2024

Le second mécanisme consistait en un assemblage sphérique permettant une rotation libre autour d'une tige (figure 34). Cette approche facilitait le mouvement mais ne garantissait pas une position fixe. Sa structure en couches s'est toutefois révélée particulièrement efficace pour le pliage thermique, réagissant de manière stable à différentes sources de chaleur comme un sèche-cheveux, l'eau chaude ou un four. Cette propriété constitue un avantage pour ajuster des pièces imprimées à diverses morphologies.



Figure 34 : Dérive 2, attache et pliage à la chaleur © Ariane Michaud, 2024

Le troisième mécanisme a modifié l'assemblage sphérique en intégrant une limite dans l'amplitude de rotation (figure 35). Ce système offrait une meilleure stabilité tout en conservant une certaine mobilité, ce qui représente un compromis efficace pour des structures nécessitant un mouvement contrôlé.

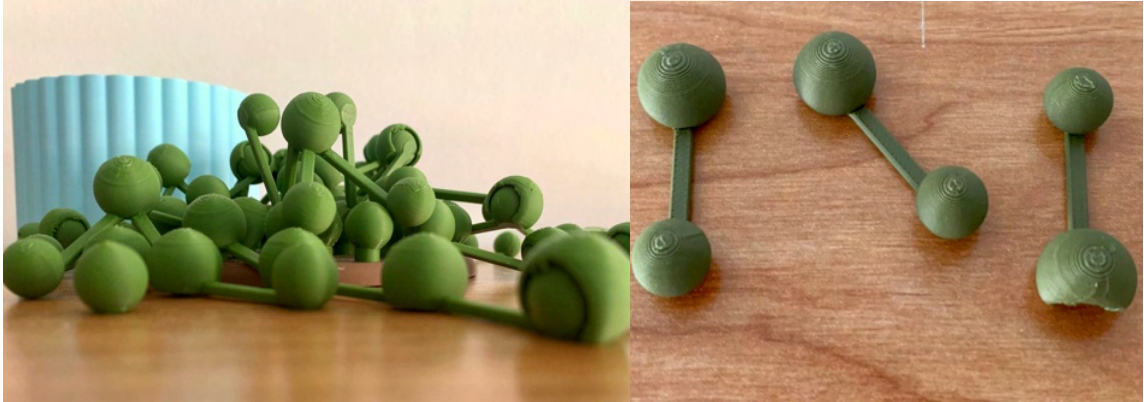


Figure 35 : Dérive 3, assemblage sphérique © Ariane Michaud, 2024

Le quatrième mécanisme a expérimenté le pliage induit par la chaleur naturelle, notamment l'exposition prolongée à la lumière du soleil (figure 37). Ce test, mené sur une forme florale imprimée en 4D (figure 36), a montré que des transformations non contrôlées peuvent être obtenues sans outils supplémentaires. Ce type de pliage passif ouvre des possibilités pour des vêtements réactifs dont la transformation dépend de l'environnement thermique, comme une forte chaleur ou une exposition directe au soleil.

Ensemble, ces prototypes ont permis d'identifier des configurations d'assemblage et des comportements thermiques transférables au design de structures vestimentaires adaptatives, tout en précisant les limites et potentiels des matériaux utilisés.



Figure 36 : Dérive 4, chaleur et rayons UV - rose/fleur © Ariane Michaud, 2024



Figure 37 : Dérive 4, chaleur et rayons UV – orchidée © Ariane Michaud, 2024

4.3 LIEN ENTRE LES RÉSULTATS ET LA QUESTION DE RECHERCHE

Ma recherche posait la question suivante : comment créer un vêtement en impression 4D avec une technologie abordable, en tant qu'alternative aux pratiques de la *fast fashion* ? Cette question a guidé mes explorations tout au long du processus de prototypage, de test et de réflexion critique. Au fil du projet, cette question s'est transformée. Elle s'interrogeait non seulement sur sa faisabilité technique, mais aussi sur son sens profond, en remettant en question la matérialité, le geste et la temporalité du vêtement.

Les résultats expérimentaux apportent une première réponse concrète. Ils démontrent qu'il est possible de concevoir un vêtement modulable et réactif à partir de matériaux accessibles, en utilisant des outils de fabrication numérique domestiques. Les nombreux tests de structure, d'assemblage et de pliage ont permis de comprendre comment ces polymères pouvaient interagir, se déformer et reprendre forme sous l'effet de la chaleur. Ces essais ont donné naissance à un vocabulaire matériel et forme, soit la variation d'épaisseur, contrôle du pliage, structures en couches. Ça constitue la base d'un langage propre à une impression 4D artisanale. En ce sens, la recherche apporte une réponse partielle à la question de départ, non pas en proposant une solution industrielle, mais en mettant en évidence le potentiel critique et poétique d'une technique à petite échelle.

CHAPITRE 5

DISCUSSION ET ANALYSE RÉFLEXIVE

5.1 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS À TRAVERS LE PRISME DE LA CRÉATION

Les résultats de cette recherche se lisent autant dans les formes produites que dans le processus qui les a fait naître. Chaque prototype, ajustement ou échec témoigne d'un dialogue entre idée, matière et technique. Le vêtement final prolonge une série d'expérimentations où la réflexion s'est construite au rythme du savoir-faire.

La création s'est révélée comme le moteur de compréhension du projet et non un moyen. L'acte d'imprimer, d'assembler et d'observer les réactions des matériaux a fait émerger les limites et les potentialités du geste créatif. À travers cette cohabitation entre le contrôle et l'inattendu, mon vêtement imprimé en 4D exprime la poétique de l'instabilité propre à la recherche-crédation.

Les réactions imprévues des matériaux et les accidents d'impression ont ouvert des pistes insoupçonnées. Ceux-ci ont donné sens à la question initiale : comment un vêtement peut-il s'adapter et se reconfigurer ? La réponse est apparue dans l'équilibre entre maîtrise et hasard. Concevoir en 4D signifie accepter d'être dépassé par sa propre création, soit que le vêtement devienne un partenaire de réflexion et un miroir du processus.

L'interprétation des résultats repose ainsi sur la tension entre intention, processus et produit. L'objectif initial de créer une option artisanale durable pour une alternative à la *fast fashion* s'est transformé en une étude sur le lien entre durabilité, lenteur et matérialité. Ce geste de création à échelle humaine valorise le temps du savoir-faire et la résistance douce à la logique du jetable.

Le processus a également redéfini ma posture de créatrice. Je suis encore productrice d'objets, mais aussi observatrice et co-constructrice avec la matière dans le cadre de ma recherche. Les traces laissées par chaque étape, soit les défauts, variations et textures témoignent de la présence du corps et de la pensée dans l'objet. Le vêtement est loin de rechercher la perfection et

propose une expérience signifiante qui interroge la place du créateur dans un contexte technologique. L'objet imprimé devient un lieu d'expérience où se rejoue le lien entre geste, temps et matière.

5.2 RÉPONSES APPORTÉES À LA PROBLÉMATIQUE PAR L'ACTE CRÉATIF

Ma recherche-crédation soulève une question importante : Comment concevoir un vêtement en impression 4D avec une technologie accessible ? Le but est d'offrir une alternative aux pratiques de la *fast fashion*. Cette question a guidé toutes les étapes du projet, du prototypage à la réflexion sur les matériaux.

Mon projet ne cherche pas à produire une solution industrielle. Il explore une démarche artisanale et expérimentale. L'objectif est d'ouvrir un espace de réflexion sur la manière de créer, d'utiliser et de comprendre le vêtement. Le prototypage et la manipulation des matériaux ont permis d'apporter des réponses concrètes. Chaque test a orienté la suite du travail et montré que l'expérimentation est une forme de savoir. Mon projet agit comme une preuve de concept. Il démontre qu'il est possible de créer autrement, avec les outils à portée de main dans un monde de machine hors de prix.

Ma démarche m'a aussi amenée à réfléchir à la place du créateur face aux technologies émergentes. Travailler avec l'impression 4D demande d'accepter l'erreur et l'imprévu. Ces éléments deviennent une composante essentielle du processus. Créer devient une manière d'apprendre en agissant. C'est mon mode de création et de procédure lorsque j'essaie un nouveau médium. La curiosité et l'autodidactie l'emportent sur l'apprentissage méthodique. Les tutoriels et instructions servent de moyen d'apprentissage pour me sortir des blocages.

L'expérimentation a également révélé les limites des matériaux dits écologiques. Même s'ils sont présentés comme durables, ils restent dépendants des procédés plastiques et énergivores. Cette contradiction m'a poussée à explorer des solutions modulaires et réparables. Ces choix favorisent une conception évolutive et responsable. Enfin, cette recherche m'a permis de mieux comprendre le rôle du design. Le design agit comme une médiation entre la technique et l'humain. Mon projet devient un espace de réflexion sur une mode plus lente et consciente. La création devient ici un outil de pensée.

5.2.1 L'APPORT CONCRÈT DE L'ACTE CRÉATIF

L'acte créatif est au centre de ma recherche-création. Il repose sur une série d'expérimentations destinées à tester la faisabilité d'une approche textile en impression 3D et 4D. Les prototypes ont permis d'explorer la possibilité de créer des structures souples et modulaires. Ces formes montrent que la technologie additive, souvent perçue comme rigide, peut aussi produire des surfaces flexibles et dynamiques.

Le prototypage a servi de preuve concrète. J'ai utilisé une imprimante grand public, la Bambu Lab X1C, avec des matériaux accessibles. Ce choix souligne la dimension artisanale du projet et son potentiel de démocratisation. Il montre qu'il est possible de mener une recherche-création avec des moyens limités. Les modules articulés conçus avec la technique PIP témoignent de cette recherche-création sur l'adaptabilité des formes. Ils peuvent être assemblés de différentes façons, ce qui ouvre la voie à des vêtements personnalisables et évolutifs. Cette approche encourage une relation plus durable entre la personne et son vêtement.

Même si les matériaux utilisés présentent encore des limites, l'expérimentation met en avant la possibilité de prolonger la vie de l'objet. La réimpression de pièces manquantes ou brisées s'inscrit dans une logique de réparation et de circularité. Le vêtement devient ainsi un modèle de réflexion sur la flexibilité et la réinvention à travers la création numérique.

5.2.2 DIMENSION SYMBOLIQUE ET RÉFLEXIVE

Mon projet ne cherche pas à transformer l'industrie de la mode, mais à proposer un geste critique qui questionne nos manières contemporaines de produire et de consommer les vêtements. En travaillant à une échelle accessible et maîtrisable, j'ai voulu réintroduire dans la création ce qui est souvent effacé par la production industrielle : le temps, le processus et l'attention portée à la matière. Cette posture place le geste et l'expérience au centre de la réflexion, et fait de la fabrication un espace d'exploration plutôt qu'un moyen d'atteindre un résultat standardisé.

Dans cette perspective, chaque prototype devient une forme de pensée matérialisée. Leur fragilité et leurs imperfections ne sont pas des échecs, mais des traces du cheminement créatif. Ils témoignent d'un rythme volontairement plus lent et d'un apprentissage continu où la matière, en réagissant, résiste ou se transforme, participe activement à la recherche. L'impression 4D y agit comme un outil d'enquête : elle permet d'examiner comment la transformation, l'adaptation ou la tension entre rigidité et souplesse peuvent devenir des éléments conceptuels du vêtement.

Ce travail met également en lumière les contradictions inhérentes à toute démarche qui souhaite penser la durabilité tout en utilisant des technologies énergivores et des matériaux partiellement recyclables. Ces tensions rappellent les limites d'un système où la rapidité et l'abondance priment sur la longévité et le soin. Créer à petite échelle, avec des moyens simples, devient alors un positionnement éthique : une manière d'affirmer l'importance de l'autonomie, de la responsabilité du créateur et de la valeur du geste humain dans un monde saturé d'objets.

Sur le plan symbolique, le vêtement imprimé en 4D joue le rôle d'un contrepoint silencieux à la vitesse et à la standardisation de la mode contemporaine. Parce qu'il est façonné lentement, qu'il assume son unicité et qu'il intègre une temporalité propre, il réintroduit une relation intime au temps, au geste et à la matière. Dans cette perspective, la durabilité ne relève pas seulement de la technique, mais elle devient une attitude, un engagement envers le soin, l'attention et l'acceptation de l'imperfection comme composante du vivant.

Enfin, cette recherche n'achève pas la réflexion ; elle l'ouvre. Les limites rencontrées soulèvent de nouvelles questions : comment augmenter la flexibilité des structures tout en assurant leur stabilité ? Comment intégrer des matériaux réactifs plus accessibles ou recyclés ? Comment impliquer les usagers dans la transformation ou la réparation du vêtement ? Ces interrogations invitent à repenser la création vestimentaire comme un espace d'expérimentation critique et poétique, capable d'interroger autant la matière que les modes de vie. Elles confirment que la recherche-création est un processus vivant, où chaque résultat devient le point de départ d'une exploration renouvelée.

5.3 MISE EN DIALOGUE AVEC LES CADRES THÉORIQUES ET CONCEPTUEL

La réflexion sur le cycle de vie du produit trouve un écho directement dans ma démarche de prototypage. Chaque impression, essai, échec d'impression et itération m'ont permis d'observer le comportement des matériaux. Cela permet aussi d'explorer leur détérioration en les manipulant. Pour revenir sur les cinq principales étapes de Ellen MacArthur Foundation (2013, 2017), on a dans l'ordre la production, l'utilisation, la maintenance, le réemploi et la fin de vie dans un mode industrielle. En mode artisanale, j'ai plutôt observé un cycle de vie comme processus vivant et évolutif, contrairement à être figé dans un modèle. Le cycle de vie d'un prototype imprimé comprend toutes les étapes allant de la modélisation numérique à l'impression, puis aux tests, les ajustements et les transformations successives des pièces. Dans mon projet, ce cycle n'est pas linéaire. Il s'agit d'un processus itératif où chaque manipulation génère de nouvelles modifications. Plutôt que de viser une stabilité matérielle, ce cycle se réinvente constamment, ce qui influence directement la durabilité des prototypes et la manière dont ils peuvent être utilisés ou adaptés au fil du temps.

J'ai accumulé une bonne quantité de bons prototypes et aussi des échecs d'impressions tout au long du processus. Les échecs sont autant des erreurs techniques, des pièces partiellement réussies ou encore qui ont décollé du lit pendant l'impression. J'ai voulu les conserver pour réfléchir à leur seconde vie à la place de les mettre directement dans le recyclage. Le PLA est théoriquement recyclable, mais en pratique il ne l'est pas dans les filières classiques. L'absence d'infrastructures adaptées fait qu'il est considéré comme un matériau difficilement recyclable. Bien qu'il appartienne à la catégorie des plastiques #7 (« Other »), la majorité des centres de tri ne possèdent ni les systèmes de reconnaissance ni les procédés nécessaires pour le séparer et le traiter adéquatement. Il se mélange mal avec les plastiques les plus courants, comme le PET ou le PE, qu'il peut contaminer, ce qui limite encore davantage son intégration dans les flux de recyclage municipaux. Le PLA nécessite en réalité une filière de recyclage spécialisée, très rare et généralement inaccessible au public.

À cela s'ajoute une contrainte propre à l'impression 3D, soit les résidus produits (supports, *brim*, essais ratés et petites chutes) qui sont souvent de taille trop réduite pour être captés par les machines de tri, ce qui les conduit directement à l'enfouissement. En conséquence, malgré son image

de matériau écologique ou compostable, le PLA ne bénéficie presque jamais d'une seconde vie dans les systèmes actuels de gestion des déchets. Shao *et al.* (2022) rappellent que ce décalage entre sa recyclabilité théorique et son traitement réel révèle un enjeu majeur pour toute pratique qui repose sur la fabrication additive. Dans un contexte industriel, ce sont des pertes, mais pour moi, ils deviennent une matière d'étude et réemploi potentiel. Ça permet de comprendre où est la cause de l'échec et de voir si elle peut quand même être utilisée en partie. Malheureusement, la plupart des échecs étaient un problème d'adhésion sur le plateau et non un mauvais design. J'ai quand même l'intention d'utiliser ces pièces en les reconfigurant avec du filament dans mon temps libre. Les techniques sont moins accessibles et plus complexes que juste acheter une nouvelle bobine de filament, mais ils méritent que leur cycle de vie soit recommencé. Ainsi, leur cycle de vie va me servir de nouvelles connaissance et possibilité. L'autre alternative est tout simplement de les faire fondre dans des moules en silicone pour en faire des nouvelles pièces ou décorations.

La théorie du cycle de vie est habituellement utilisée comme mesure des impacts environnementaux. Dans ce projet, elle prend une forme différente, soit qu'elle devient une manière poétique et critique d'observer la matière. Elle est poétique parce qu'elle ne passe plus par des chiffres ou des tableaux, mais par des gestes, des formes et des matières en mouvement. Donc, le cycle ne se lit plus dans un graphique, mais dans un fil d'extrusion qui se transforme. Le côté critique vient en réinterprétant cette théorie dans un autre cadre. Je remets en question l'aspect de linéarité au profit d'une temporalité circulaire et ouverte. L'impression 3D permet de contester les débuts et la fin d'un objet, de l'étape de la pensée à son design, la fabrication et son usage. Il y a aussi tout le questionnement quand il n'est plus fonctionnel. Ces questionnements dépassent la logique de l'écologie pour rejoindre une réflexion sur la temporalité, valeur et mémoire des objets. En fin de compte, cette approche met en évidence que le cycle de vie n'est pas un indicateur de performance, mais un outil de pensée. Elle transforme le cycle de vie en cycle d'existence. Il permet de rendre visibles les gestes, transformations et choix qui façonnent le rapport entre le créateur, la matière et la durabilité.

5.3.1 L'OBSOLESCENCE EN RÉFLEXION

Ensuite, le concept d'obsolescence prend une forme symbolique et matérielle. Elle est liée à la consommation rapide dans la *fast fashion* et les cycles accélérés de conception ou expérimentation en impression. Les vêtements sont conçus pour être éphémères et remplacés avant même d'avoir été usés. En parallèle, les prototypes s'enchaînent, se testent et se jettent. Donc, on peut presque en convenir que l'obsolescence devient un moteur de création avec la production incessante. Le coût est une accumulation de déchets et d'un effacement de sens.

Dans mon projet, cette obsolescence est reconfigurée en un objet de réflexion. Les prototypes défectueux cessent d'être des échecs et deviennent des témoins du processus. Leur matérialité porte les traces du temps, erreurs et ajustements en apprentissage. Cela permet qu'elle ne marque plus la fin d'un cycle, mais une transition à une nouvelle exploration. Symboliquement, mon approche essaie de réhabiliter la fragilité et l'imperfection dans la création. Là où la *fast fashion* cherche la perfection standardisée et le remplacement constant, je cherche à réaffirmer la valeur du processus. Mon vêtement inachevé est imprégné d'une mémoire. Il reflète mon parcours, mes expériences, mes tentatives infructueuses et mes découvertes inattendues.

D'un point de vue matériel, l'obsolescence prend corps dans les matériaux utilisés. Le PLA et TPU, souvent qualifiés de durables, ont quand même une limite dans le temps à cause de leur fragilité et perte de flexibilité due à l'assèchement de la matière. Cette réalité renforce le sens critique avec la contradiction entre innovation et durabilité. Je cherchais à rendre visible et signifiante celle-ci sans l'effacer.

5.3.2 TEMPORALITÉ DE LA MATÉRIALITÉ

Aussi, mon projet mobilise la notion de temporalité de la matérialité dans une perspective critique. Le travail avec divers polymères m'a conduite à contester leur statut, soit la matière « vivante » en transformation et déchet potentiel. Ce que je veux dire est que c'est une matière qui réagit, évolue et se transforme au fil du temps. Dans mon projet, cette vitalité se constitue par la déformation et le changement d'état du polymère. La matière est plus que le simple support de création, mais un agent de connaissance. Ainsi, le filament est porteur de son histoire avec ses

contraintes et réactions aux stimuli. Alors, la manipulation des matériaux revient à écouter leurs comportements et voir leurs limites physiques.

Les matières utilisées réagissent à la chaleur, la tension et le temps en se déformant et se fragilisant. Ces altérations ne sont pas des échecs techniques, mais un signe de vie. Elles témoignent du caractère éphémère et instable de la création matérielle à l'ère numérique. Alors, la matière agit autant qu'elle subit. C'est souvent la matière qui va m'orienter dans la direction du projet. En ce sens, la matérialité prend une valeur heuristique, c'est-à-dire qu'elle produit du savoir par l'expérience. Le fil imprimé, la surface texturée et le maillage articulé deviennent des expérimentations où se produisent la technique, la sensibilité et la réflexion.

Cette matérialité conteste aussi notre rapport contemporain aux objets et la production. L'utilisation de plastique dit écologique, mais issu de procédés industriels, confronte la promesse technologique de durabilité à la réalité tangible de la matière. Ils sont souvent fragiles, non recyclables et interdépendants de chaînes de productions globalisées. Ainsi, une tension se crée entre la matérialité concrète et l'idéal de durabilité, révélant les limites réelles du matériau derrière la promesse technologique. Elle montre que les matériaux portent en eux les contradictions écologiques de notre époque. En même temps, ils offrent un espace d'expérimentation et d'expression créative. Donc, c'est un symbole de nos limites et une source de nouvelle possibilité. La matière participe à la pensée, car c'est en l'observant et en la manipulant que ses potentialités émergent. J'ai découvert des modes d'existence qui dépassent l'utilitaire, soit expressive et narrative. En ce sens, j'ai voulu inscrire ma pratique dans une écologie sensible de la création où le matériau engage une responsabilité et dialogue pour le façonner.

5.3.3 DURABILITÉ

Le dernier point était les théories de la durabilité avec une perspective alternative de processus de la mode. Le processus est un continu d'expérimentation et de transformation. Dans cette perspective, la durabilité ne se limite pas à la longévité matérielle d'un objet, mais englobe aussi la pérennité des idées, des pratiques et des relations qu'il génère. Mon projet s'inscrit dans cette logique en explorant comment la création numérique peut favoriser une mode plus consciente. Chaque

prototype devient une étape du cycle plutôt qu'un produit final. Ainsi, la durabilité devient un principe d'action créative invitant à concevoir avec l'adaptation au fil du temps.

5.4 BIFURCATIONS OU DÉCOUVERTES EN COURS DE PROJET

Mon projet a pris une nouvelle direction au moment d'intégrer l'impression 4D au vêtement. Cette étape a rendu le travail plus complexe que prévu. Elle a marqué le passage d'une exploration sur la réactivité des matériaux à une recherche sur les principes d'assemblage entre le PLA et le TPU.

5.4.1 PROJET PARALLÈLE POUR LES PRINCIPES D'ASSEMBLAGES EN IMPRESSION 4D

Durant cette phase, un projet parallèle est né autour des liens entre les deux polymères. Cette dérivation, non planifiée, s'est révélée essentielle. J'ai cherché à créer deux pièces capables de s'emboîter solidement tout en gardant une certaine souplesse. Les premiers essais, basés sur un système tige-trou, manquaient de stabilité. Cette expérience m'a permis de comprendre la nécessité d'un équilibre entre flexibilité et fixation. Je parle ici de la fleur mentionnée en 4.2 (figure 36).



Figure 36 : Dérive 4, chaleur et rayons UV - rose/fleur © Ariane Michaud, 2024

L'avancée importante est venue avec le prototype de la fleur à plat. Cette structure intègre les apprentissages précédents. Elle combine plusieurs couches dont l'épaisseur varie pour contrôler le

pliage. Ce principe offre une maîtrise plus précise des déformations thermiques propres à l'impression 4D.

Le modèle de la fleur a ouvert une voie nouvelle dans ma recherche. Il m'a permis d'orchestrer les transformations directement à la conception. L'empilement modulable des pétales et la variation d'échelle ont montré comment la forme pouvait être pensée comme un mouvement. Cette découverte a changé ma manière de concevoir. Ma recherche est passée d'une logique de performance à une logique d'exploration. Cette bifurcation technique et réflexive illustre l'esprit de ma méthodologie expérimentale. Le projet s'est construit par détours, essais et intuitions. Chaque découverte a guidé la suivante. Ces déplacements successifs ont donné au processus sa cohérence et son sens.

5.4.2 EXPÉRIENCES VÉCUES OU PROVOQUÉES PAR L'ŒUVRE

Au début du processus, mes choix des matériaux, entre le PLA rigide et le TPU flexible, ont reflété une tension. Le PLA apportait la robustesse nécessaire pour évoquer visuellement l'armure, tandis que le TPU offrait la souplesse indispensable pour assurer l'adaptabilité du vêtement. L'inversion majeure s'est produite quand j'ai dû changer les deux matériaux pour leur fonctionnalité avec les réactifs à l'environnement. Travailler avec ces deux types de matériaux a soulevé une interrogation constante sur la fonctionnalité et l'esthétique : comment concevoir un vêtement qui donne l'impression d'une armure tout en restant confortable et réactif ?

Pour essayer de répondre à cette question, je pense que la réponse se trouve dans le motif comme la cote de maille d'une armure. Le motif en dentelle utilisé dans la majorité des parties du vêtement symbolise cette dichotomie. Initialement fragile et délicat, le motif, lorsqu'imprimé en 3D avec des matériaux souples, acquiert une résistance inattendue tout en conservant une apparence gracieuse et complexe. Cette combinaison de motifs organiques et de matériaux renforcés a donné naissance à un vêtement capable de capturer la beauté dans la dystopie, un contraste qui suscitait des sentiments mêlés d'admiration et d'inquiétude. Le sentiment de porter une « armure vivante » qui est capable de réagir, de changer, et même de protéger en s'adaptant, éveille à la fois un sentiment de sécurité et une appréhension.

Dans mes expérimentations, j'ai ressenti des contrastes marqués entre les matériaux rigides et flexibles sur la peau. Les matériaux durs, tels que le PLA, bien qu'ils procurent un sentiment de sécurité et de solidité, peuvent également se révéler rigides et peu flexibles, ce qui entraîne une sensation d'inconfort et une fragilité accrue. En revanche, les matériaux flexibles comme le TPU apportaient une douceur et une élasticité qui s'adaptait parfaitement aux courbes du corps, offrant une sensation de confort et de fluidité. C'est idéal pour offrir une bonne diversité de mouvement, peu importe la taille de corps. Cette différence m'a fait comprendre l'importance de combiner ces deux types de matériaux dans mes prototypes pour allier structure et adaptabilité, créant ainsi des vêtements à la fois protecteurs, souples et confortables.

Dans tout mon processus de chaque étape, mes impressions de chaque prototype m'ont exigé plusieurs heures d'observation et d'ajustement. C'est un rythme à contre-courant de la rapidité imposée par la *fast fashion*. Ces délais m'ont permis de redécouvrir une forme de patience créative. L'impression 3D est un processus lent à concevoir qui fait comprendre que la lenteur est essentielle pour de bons résultats et pour l'appartenance. Une relation plus sensible et consciente à la matière et au projet final. Mon œuvre m'a ainsi transformée autant que je l'ai construite. L'expérience esthétique de l'œuvre repose sur une tension, soit celle entre la froideur mécanique du plastique et la délicatesse du geste de création. Le vêtement devient une métaphore de la coexistence entre nature et machine, entre l'humain et le numérique. Il provoque une forme d'étrangeté familière, invitant à repenser notre rapport au vêtement comme à un organisme vivant.

5.5 APPORTS SPÉCIFIQUES DE LA RECHERCHE-CRÉATION

Ma recherche-crédation met en lumière plusieurs apports sur les plans méthodologique, conceptuel, pratique et interdisciplinaire. Elle illustre comment la matière, le geste et la réflexion s'entrelacent pour produire à la fois des savoirs et des formes.

Ma démarche repose sur une expérimentation itérative fondée sur le savoir-faire pour comprendre. Mes prototypes ont servi à analyser, ajuster et faire évoluer la réflexion. Ma méthode valorise un savoir situé, issu de l'action et du contact direct avec la matière. Mon geste expérimental relie la main, la machine et la pensée, devenant un véritable outil de connaissance au même titre que

la théorie. Sur le plan conceptuel, la recherche propose une vision renouvelée de la durabilité. Elle s'éloigne des logiques industrielles pour valoriser la lenteur, la modularité et la réutilisation. La durabilité n'est pas liée à la performance technique, mais au soin porté au processus et à la transformation. Cette posture introduit une écologie du geste où la création devient un acte réfléchi, porteur d'une résistance douce à la rapidité de la production de masse.

Sur le plan pratique, mon projet démontre le potentiel expressif de l'impression 3D et 4D dans le domaine de la mode. Mon vêtement imprimé devient un espace d'expérimentation et de dialogue avec la matière. L'exploration des polymères (PLA, PETG, TPU) et des transformations thermiques a permis de concevoir des formes réactives et modulables, révélant la capacité de la matière à coconstruire la création. Mon vêtement final agit comme un objet manifeste condensant les apprentissages issus du processus et matérialisant la rencontre entre artisanat et technologie.

En le concevant moi-même, j'ai développé un fort lien d'appartenance envers cet objet. Cette fierté rejoint ce que Norton, Mochon et Ariely (2012) nomment l' « effet IKEA », soit la tendance à accorder davantage de valeur à un objet que l'on a soi-même fabriqué. Ce rapport affectif met en lumière la dimension cognitive et sensible du processus créatif, où la matière devient un vecteur d'attachement et de sens.

Ma recherche s'inscrit aussi dans une logique interdisciplinaire. En réunissant la mode, la technologie d'impression et le design expérimental, elle crée un espace hybride entre art, ingénierie et écologie. Cette transversalité ouvre la voie à de nouvelles formes de collaboration entre créateurs, chercheurs et communautés de *makers*. La fabrication numérique devient un langage commun où les savoirs se croisent et s'enrichissent. En cela, ma recherche contribue à une écologie du savoir-faire où la pensée et l'innovation émergent du geste collectif.

Dans le cadre de ma recherche-crédation, cette reconnaissance du savoir-faire réaffirme la valeur du geste comme source d'affect, de connaissance et de durabilité. Ainsi, ma recherche-crédation montre que la création n'est pas seulement une forme d'expression, mais un mode de connaissance. En articulant expérimentation, réflexion et engagement matériel, elle propose une manière renouvelée d'unir mode et technologie pour produire du sens, du lien et une durabilité vivante.

5.6 LIMITES ET PERSPECTIVES

Ma recherche-création s'inscrit dans un processus évolutif, où chaque étape de conception a révélé autant de possibilités que de contraintes. Mes limites représentent davantage mes forces que mes faiblesses. Elles me permettent de mieux comprendre mes zones d'ombre et de définir un cadre de réflexion qui mène à de nouvelles explorations. Ces limites sont à la fois personnelles, méthodologiques et contextuelles, ancrées dans ma posture de créatrice chercheuse. Elles témoignent des choix, des apprentissages et des renoncements qui ont façonné le projet.

Dans cette optique, la réflexion sur les limites permet de situer la portée du projet sans en réduire la valeur expérimentale. Elle met en évidence ce que le processus a permis d'atteindre, mais aussi ce qu'il a volontairement laissé en suspens. Cette prise de recul permet d'envisager des pistes de développement théorique et pratique. Les sections suivantes détaillent d'une part mes limites personnelles, et d'autre part les perspectives qui émergent de ces constats.

5.6.1 LIMITES

Ma recherche-création s'est développée à partir d'une posture fortement impliquée, où ma proximité avec l'œuvre a parfois rendu difficile la prise de distance critique. Mon regard sur le projet reste teinté par mon expérience, mes intuitions et mes valeurs esthétiques. Cette subjectivité, bien qu'inhérente à la recherche-création, a influencé l'interprétation des résultats et la manière dont j'ai perçu la réussite du vêtement.

Mon attachement au geste créatif et à la dimension symbolique de la pièce a aussi pu orienter certaines décisions techniques. Le désir d'obtenir une cohérence visuelle et conceptuelle a parfois pris le pas sur une exploration plus rigoureuse des paramètres scientifiques ou des contraintes matérielles.   cela s'ajoute une limite liée à mes compétences techniques. Je ne suis pas issue du domaine de l'ingénierie des matériaux ou de la programmation 4D. Certaines expérimentations sont demeurées empiriques, fondées sur des essais plutôt que sur une maîtrise approfondie des comportements polymériques.

Les conditions matérielles et temporelles ont également façonné le cadre du projet. Travailler de manière autonome, avec un équipement limité et un budget restreint, a imposé un rythme lent et une économie de moyens. Si ces contraintes ont parfois freiné le développement technique, elles se sont aussi inscrites dans la logique de lenteur volontaire que je cherchais à défendre. C'est une forme de cohérence entre les moyens de production et la philosophie du projet.

Enfin, la double posture de créatrice et de chercheuse a exigé une constante oscillation entre intuitions et analyse. Passer du geste à la verbalisation, de la matière à la théorie, a constitué un défi récurrent. De plus, l'absence de collaboration externe ou de retour d'utilisateurs limite la portée expérimentale du vêtement. Certaines dimensions sociales, sensorielles ou symboliques liées à son usage n'ont pu être explorées, laissant ce champ ouvert pour de futures recherches.

5.6.2 PERSPECTIVES

Au fil du projet, certaines directions inattendues ont émergé, ouvrant des perspectives de recherche qui dépassent les intentions initiales. L'intégration de la matière réactive et la mise en dialogue entre artisanat et technologie ont révélé un potentiel plus vaste que celui d'un simple vêtement expérimental. Ces bifurcations suggèrent que l'impression 4D pourrait devenir un terrain d'exploration pour repenser la relation entre forme, temps et usage, où le vêtement n'est plus. Elle est capable d'évoluer avec son environnement ou son porteur.

Cette découverte a transformé ma compréhension de la question de recherche. Plutôt que de chercher une solution durable au sens classique, la recherche m'a amenée à envisager la durabilité comme plusieurs facteurs. Il y a le processus évolutif, la pratique qui s'apprend, s'adapte et qui se reconfigure au fil du temps. Le projet ouvre ainsi sur une réflexion plus large, soit celle d'un design qui ne vise pas la perfection stable. Elle représente une plasticité vivante, soit une capacité à changer sans perdre son sens. Pour la suite, ces observations invitent à croiser davantage les disciplines. C'est l'association de l'ingénierie, les biomatériaux et le design critique qui permet de développer des systèmes de création hybrides.

Ainsi, la matière devient coauteur du projet. De futures explorations pourraient aussi interroger la dimension participative, en impliquant d'autres créateurs ou utilisateurs dans le processus, pour

comprendre comment le geste partagé peut prolonger la vie et la signification d'un objet. Ainsi, même si le projet s'est éloigné de ses premières hypothèses, il justifie pleinement une question de recherche évoluée de celle originale : comment la création, entre main, matière et technologie, peut-elle devenir un espace d'adaptation et de réflexion face aux enjeux contemporains de la mode et de la durabilité ?

CONCLUSION

Cette recherche-création examine la relation entre mode, technologie et durabilité à travers une exploration pratique de l'impression 3D/4D. Elle montre que la fabrication numérique peut devenir un espace d'enquête sensible où la matière oriente le geste et la réflexion. Le projet propose une vision du numérique qui prolonge le savoir-faire plutôt qu'il ne le remplace pas, en donnant une valeur méthodologique à la lenteur, à l'attention et à l'itération. Sur le plan méthodologique, la démarche a révélé la force du savoir expérientiel. L'approche *bottom-up* a permis de comprendre comment la pensée émerge directement de l'action, à travers les essais, les erreurs et les ajustements. Les prototypes sont devenus des lieux d'analyse où la pratique elle-même produit la connaissance. Sur le plan conceptuel, la recherche a permis de vivre les notions de durabilité, matérialité et temporalité dans la fabrication même. Le vêtement imprimé en 4D incarne une durabilité sensible fondée sur la modularité, l'adaptation et la transformation progressive plutôt que sur la performance technique. Enfin, cette recherche redéfinit la création comme forme de réflexion et de dialogue entre humain, matière et technologie. Elle montre qu'un geste médié par la machine demeure un geste incarné, porteur de sens et de connaissances situées.

La démarche s'est développée de manière ouverte, guidée par l'exploration et la réceptivité aux comportements de la matière. L'absence de plan rigide a permis d'accueillir l'imprévu et de laisser la pratique orienter les directions conceptuelles. Chaque prototype a généré un nouvel apprentissage, confirmant que la compréhension peut émerger directement du geste. Ce processus a transformé ma posture de créatrice chercheuse. Le travail en impression 3D/4D m'a amenée à naviguer entre rigueur technique et intuition, entre analyse et sensibilité. La technologie est devenue un partenaire d'expérimentation, révélant une écologie du savoir-faire où la création se construit dans une relation active avec la matière. Cette expérience a consolidé une éthique du savoir-faire fondée sur le soin, le temps long et l'attention. Elle a permis de comprendre la création non comme une suite

d'objets à produire, mais comme un mode d'existence qui engage la main, la pensée et la machine dans un même mouvement.

Sur le plan artistique, la recherche démontre que l'impression 3D/4D peut devenir un langage plastique qui interroge la transformation, la mémoire matérielle et le rapport au corps. Le vêtement final agit comme un objet manifeste révélant que la fabrication numérique peut être intime, réflexive et poétique. Sur le plan académique, la démarche renforce la légitimité de la recherche-crédation comme méthode d'enquête fondée sur l'expérience. Elle montre la valeur des savoirs situés produits par l'expérimentation, la manipulation et la réflexion intégrée au processus. Elle ouvre également un espace interdisciplinaire où se rencontrent mode, design numérique et fabrication additive. La recherche contribue enfin à une réflexion sur la durabilité dans les pratiques numériques. Elle propose une vision où la modularité, la réutilisation et l'adaptation deviennent des principes de conception capables de résister à la logique de production rapide.

Les résultats obtenus ouvrent plusieurs directions possibles. Sur le plan artistique, l'exploration de matériaux réactifs capables de changer de couleur, de forme ou de texture pourrait approfondir la dimension sensible et performative du vêtement. Sur le plan technique, l'adaptation des imprimantes domestiques et l'accessibilité des matériaux réactifs permettraient d'élargir l'usage de ces technologies à un public non spécialisé. Cette recherche pourrait aussi nourrir une réflexion sur la création participative, où les usagers deviennent co-concepteurs grâce à des modules adaptatifs imprimables. Elle ouvre enfin des perspectives pédagogiques pour enseigner la fabrication numérique à travers une approche fondée sur l'intuition, l'expérimentation et le dialogue avec la matière.

LISTE DE RÉFÉRENCES

- 3D Hubs. (2020). *Material Comparison Guide: Mechanical and Thermal Properties*. Hubs B.V.
- Balena x Brigitte Kock. (2024). *Sustainable 3D-Printed Fashion Created with Biomaterial*. Specialty Fabrics Review. Consulté sur : <https://specialtyfabricsreview.com/2024/06/01/sustainable-3d-printed-fashion-created-with-biomaterial/>
- Bambu Lab. (2023). *Automatic Material System (AMS): Technical Documentation*. Bambu Lab Technologies.
- Beltrán, F. R., Sanoja, E. M., & Aroca-Santos, R. (2021). *Limitations and environmental aspects of biodegradable polymers for 3D printing*. *Polymer Degradation and Stability*, 187.
- Bick, R., Halsey, E., & Ekenga, C. (2018). *The global environmental injustice of fast fashion*. *Environmental Health*, 17(92). <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0433-7>
- Borgdorff, H. (2012). *The Conflict of the Faculties: Perspectives on Artistic Research and Academia*. Leiden University Press.
- Bowker, L. (2014). *THE UNSEEN: Material Alchemy for Fashion*. Consulté sur : <https://theunseen.empiricalstudios.com/>
- Bowker, L. (2015). *Air Collection — Colour-Changing Textiles*. Consulté sur : <https://theunseen.empiricalstudios.com/air/>
- Boyd, S. (2017). *Life Cycle Assessment of Additive Manufacturing*. In T. Wohlers (Ed.), Wohlers Report.
- Bulow, J. (1986). *An Economic Theory of Planned Obsolescence*. *The Quarterly Journal of Economics*, 101(4), 729–749.
- De Falco, F., Gullo, M. P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., ... Avella, M. (2019). *The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution*. *Environmental Pollution*, 249, 321–327.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future*. <https://ellenmacarthurfoundation.org>
- Fletcher, K. (2014). *Sustainable Fashion and Textiles* <https://doi.org/10.4324/9781849772778>
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>
- Fraser, E. D. G., Dougill, A. J., Mabee, W. E., Reed, M., & McAlpine, P. (2006). *Bottom up and top down: Analysis of participatory processes for sustainability indicator identification as a pathway to community empowerment and sustainable environmental management*. *Journal of Environmental Management*, 78(2), 114–127. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.04.009>
- Fused Deposition Modeling ou FDM* <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/11/4052>
<https://www.ijstr.org/final-print/jan2020/Design-And-Development-Of-3d-Printer-Filament-Extruder-For-Material-Reuse.pdf>

- Gao, Y. (2013–2024). *Designs for a Sensitive Life: Interactive and Responsive Garments*. Consulté sur : <https://yinggao.ca/>
- Gao, Y. (2014). *NŌCODE Series*. Consulté sur : <https://yinggao.ca/interactifs/nocode/>
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies* (2e éd.). Springer.
- Giffard, P.-O., & Lebeau, C. (2019). Les approches *bottom-up* et *top-down*. Dans *Pro en management commercial* (pp. 32–33). Paris : Dunod. <https://shs.cairn.info/pro-en-management-commercial--9782311622867-page-32?lang=fr>
- Gladman, A., Matsumoto, E., Nuzzo, R., Mahadevan, L., & Lewis, J. (2016). *Biomimetic 4D printing*. *Nature Materials*, 15, 413–418.
- Grassi, K., Sparrman, B., Paoletti, I., & Tibbits, S. (2020). *4D Soft Material Systems. Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Hemmings, J. (2018). Iris van Herpen: *Transforming Fashion* (exhibition review). Consulté sur ResearchGate : https://www.researchgate.net/publication/330855402_Iris_van_Herpen_Transforming_Fashion_exhibition_review
- Hubs. (2020). *3D Printing Design Guide: Tolerances, Clearances and Mechanisms*. Hubs B.V.
- Ingold, T. (2013). *Making: Anthropology, Archaeology, Art and Architecture*. Routledge.
- Kock, Brigitte. *Variable Seams – Modular 3D-Printed Fashion*. Accessible sur le site Variable Seams <https://www.variableseams.com/about>
- Kolken, H. M. A., & Zadpoor, A. A. (2017). *Auxetic mechanical metamaterials*. *RSC Advances*, 7, 5111–5129.
- Körner, J. (2015). *Vespers: 3D-Printed Death Masks* (coll. Neri Oxman & Mediated Matter Group).
- Körner, J. (2019). *ARID Collection — 3D-Printed Haute Couture*. Consulté sur : <https://www.juliakoerner.com/>
- MatterHackers. (2021). *Designing Print-in-Place Assemblies: A Practical Guide to 3D Printed Mechanisms*. MatterHackers Inc.
- MIT Media Lab. Consulté sur : <https://www.media.mit.edu/projects/vespers/overview/>
- Momeni, F., Hassani, N., Liu, X., & Ni, J. (2017). *A review of 4D printing materials and methods*. *Materials & Design*, 122, 42–79.
- Moreno, P., Gil-Estrada, S., & Vidal, R. (2021). *Recycling of 3D Printing Plastic Waste: An Overview*. *Proceedings*, 69(1), 19. <https://www.mdpi.com/2504-3900/69/1/19>
- Moreno, P. (2021). *Additive manufacturing waste and recycling limitations*.
- Niinimäki, K., & Hassi, L. (2011). *Emerging design strategies in sustainable production and consumption of textiles and fashion*. *Journal of Cleaner Production*, 19(16), 1876–1883.
- Niinimäki, K. (2019). *Sustainable Fashion in a Circular Economy*. Aalto University.

- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., & Gwilt, A. (2020). *The environmental price of fast fashion*. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4), 189–200.
- Norton, M. I., Mochon, D., & Ariely, D. (2012). *The IKEA effect: When labor leads to love*. *Journal of Consumer Psychology*, 22(3), 453–460. <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2011.08.002>
- Oxman, N. (2015). *Wanderers — An Astrobiological Exploration*. MIT Media Lab, Mediated Matter Group. Consulté sur : <https://www.media.mit.edu/projects/wanderers/overview/>
- Oxman, N. (2016). *Material Ecology*. MoMA Exhibition Archive. Consulté sur : <https://www.moma.org/calendar/exhibitions/5227>
- Paquin, L.-C. (2020). *Les cycles heuristiques en recherche-création : version abrégée*. Université du Québec à Montréal. https://lcpaquin.com/cycles_heuristiques_version_abregee.pdf
- Polymaker. (2022). *PolyMide™ CoPA Technical Datasheet*. Polymaker Industrial.
- Prusa Research. (2022). *Print-in-Place Models: Design and Printing Guidelines*. Prusa Knowledge Base.
- Prusa Research. (2023). *Filament Guide: Properties and Printing Recommendations*. Prusa Knowledge Base.
- RECYC-QUÉBEC (2018). *Bilan de gestion des matières résiduelles au Québec* <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2018-complet.pdf>
- Redwood, B., Schöffner, F., & Garret, B. (2018). *The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications*. 3D Hubs.
- Saavedra-Rojas, M. (2024). *PLA degradation and environmental behaviour: A review*. *Journal of Polymers and the Environment*.
- Saavedra-Rojas, O. (2024). *Environmental assessment of PLA degradation pathways*.
- Schön, D. A. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Basic Books.
- Sennett, R. (2008). *The Craftsman*. Yale University Press.
- Shao, H., et al. (2022). *Recycling of PLA-based materials: challenges and opportunities*.
- Shao, L., Chen, G., & Li, S. (2022). *Revisiting the biodegradability of PLA: Environmental impacts and challenges*. *Green Chemistry*, 24(19), 7489–7503. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/gc/d2gc01745h>
- Solvay. (2021). *Ryton® PPS Technical Data Sheet*. Solvay Specialty Polymers.
- Stratasys. (2020). *FDM Technology Overview*. Stratasys Ltd.
- Textile Exchange (2022) – rapports sur volumes et déchets* <https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/materials-market-report-2022/>
- Tibbits, S. (2014-a). *4D Printing: Multi-Material Shape Change*. *Architectural Design*, 84(1), 116-121.
- Tibbits, S. (2014-b). *The next wave: 4D printing - Programming the material world*. MIT Self-Assembly Lab.

Van Herpen, I. (2010–2024). *The Maison of Iris van Herpen*.
Consulté sur : <https://www.irisvanherpen.com/about/the-maison>

Wu, J. (2022). *Community-based PLA recycling initiatives: Challenges and perspectives*.

ANNEXE I

Voici les deux tableaux Excel pour mes classifications des matériaux et de la recherche des prototypes trouvés sur internet.

Le premier tableau est pour ma recherche des matériaux disponibles qui sont accessibles à être imprimé sur mes imprimantes Bambu Lab X1C. Cette imprimante est fermée et se trouve dans une pièce bien ventilée. La sorte de buse est en un métal qui est capable de chauffer à plus de 270 degrés Celsius pour permettre d'imprimer toutes sortes de matériaux, plus que juste du PLA. Ainsi, voici mon classement en couleurs et les caractéristiques sur chacun.

Les PLA sont les matériaux classiques qui sont les plus populaires et disponibles facilement. Il n'est pas flexible et bien pour l'utilisation de figurines, de décoration et la majorité des impressions qu'on trouve sur internet.

Le TPU, TPE, PP, PVA et PCL sont les matériaux flexibles qui ont une possibilité d'être déformés. Les matériaux 4D ont aussi des propriétés flexibles, mais je ne les ai pas analysés, car ils sont vraiment trop chers et peu disponibles.

L'ASA, l'ABS, PETG, NYLON et PC sont très rigides et plus que le PLA.

Sur la prochaine page, je fournis mon analyse en classification tout comme mon système de de tous les matériaux que j'avais et que j'ai acheté. Voici les explications de chaque colonne :

Letter types : initial et nom commun des matériaux

Type : Nom complet des matériaux

Nom du produit : Le nom sur les sites web avec plus de détails

Fonction : leurs caractéristiques

Marque : marque des filaments

Provenance : le site web où je les achetés

Acheter : si je l'avais déjà ou si je les jamais acheté

Photo : certains se ressemblent et je voulais un rappel visuel

Autres liens : au cas où ils ne sont pas disponibles sur le site web

classement couleurs	Commentaires Caractéristiques
PLA	Régulier
PLA+/PRO/COM PLA	Plus résistant, dureté
TPU	flexible
TPE	élastique
ASA	Plus résistant, dureté que PLA
ABS	Basé sur la résine
PVA	Dissous dans l'eau
PETG/PVB	plus de dureté que PLA
NYLON	RIGIDE
PCL	déformation dans l'eau
4D PLA/SMP/PBAT/PTC	shape memory
PP	similiere au tpu moins flexible
PC	RÉSISTANT AU CHAUD/FROID

letter types	types / matériaux	nom du produit	fonction	marque / fournisseur	provenance / pays	liens	acheter	photo du produit	Autres liens
PLA	Poly(lactide Acid	Filament PLA pour imprimante 3D 1,75 mm transparent	transparent	Giantarm	Amazon	https://www.amazon.ca/gp/product/B09X2XDBQ3?pf_rd_p=4d13e0a10b2e074070c417184841c1	oui, vide		
TPU	Polyuréthane thermoplastique	Filament TPU 1,75 mm pour imprimantes 3D +/-0,05 mm, 95A	95A - Flexible	Eryone	Amazon	https://a.co/d/2MfRah	oui		
PLA PRO	POLYLITE pro, Poly(lactide Acid	Filament PLA PRO de 1,75 mm, puissant polyfite pro	rigidité et résistant	Polymaker	Amazon	https://a.co/d/3lmdVw	oui, plusieurs couleurs		
PLA +	Acide polylactique	Filament PLA + 1,75mm 0,25 kg 10h	rigidité et résistant	JAYO	Amazon	n'existe plus. Lien alternatif: https://a.co/d/6oi1BTH	oui		
PLA	Acide polylactique	TRI COLOR coextrusion PLA filament 0,25kg 4x	soie coextrusion 3 couleurs	ERYone	Amazon	https://a.co/d/3pMAbu	non		
PLA	Acide polylactique	Filament PLA double couleur mat coextrusion	matte co extrusion	ERYone	Amazon	https://a.co/d/9fR0D13	non		
PLA	Acide polylactique	dual COLOR coextrusion PLA filament 0,25kg 4x	soie coextrusion 2 couleurs	ERYone	Amazon	https://a.co/d/1Hh3P8	non		
PLA	Acide polylactique	filaments PLA phosphorescents de 1,75 mm ø 0,03 mm, 250 g bobine	glow in the dark	ERYone	Amazon	https://a.co/d/3duPyTC	non		https://3dprintscanada.com/categories/pla-glow-in-the-dark/
PLA	Acide polylactique	Polyfite	régulier	Polymaker	Polymaker canada	https://a.co/d/3duPyTC	oui, plusieurs couleurs		https://a.co/d/3GXa17G
PLA	Acide polylactique	Polyfite uv changing color	UV change de couleur	Polymaker	Polymaker canada	https://a.co/d/3duPyTC	oui		
PLA	Acide polylactique	Polyfite temperature changing color	change de couleur selon la température	Polymaker	Polymaker canada	https://a.co/d/3duPyTC	oui		https://a.co/d/86TDSN
PLA	Acide polylactique	Polyfite glow pla	glow in the dark	Polymaker	Polymaker canada	https://a.co/d/3duPyTC	non		https://a.co/d/2nd2Lq
PLA	Acide polylactique	Polyfite luminous pla	glow in the dark	Polymaker	Polymaker canada	https://a.co/d/3duPyTC	non		https://a.co/store-hambalah.com/collections/hambalah-3d-printing-filament/products/pla-glow
PLA	Acide polylactique	Polytera pla	régulier mat	Polymaker	Polymaker canada	https://a.co/d/3duPyTC	oui, plusieurs couleurs		
PLA	Acide polylactique	Polyfite LW PLA	régulier brillant	Polymaker	Polymaker canada	https://a.co/d/3duPyTC	non		
ASA	acrylonitrile styrene acrylate	Polyfite asa	uv ET environnement résistant	Polymaker	Polymaker canada	https://a.co/d/3duPyTC	oui		https://a.co/d/3TyzTZ
ABS	acrylonitrile butadiene styrene	Polyfite abs	fait avec de la résine	Polymaker	Polymaker canada	https://a.co/d/3duPyTC	oui		
PVA	Polyvinyl butyral	PolyDissolve S1	dissous dans l'eau	Polymaker	Polymaker canada	https://a.co/d/3duPyTC	oui		https://a.co/store-hambalah.com/products/pva
PETG	polyéthylène téréphtalate glycol	PETG translucide	translucide	bambu	bambu - chine	https://a.co/store-hambalah.com/products/petg-translucide	oui		
nylon	copolymère nylon	ePA	un peu flexible	esun	amazon	https://www.esun3d.com/E_spa-nylon/	non		
PLA	modified based on PLA material	e4D-1	shape memory	esun	?	https://www.esun3d.com/e4d-1-nylon/	non		
tpu	polyuréthane thermoplastique	eTPU-95A	flexible ET uv couleur changeante	esun	?	https://www.esun3d.com/E_tpu-color-change-tpu-tpu-product/	non		https://www.digitmakers.com/collections/flexible-filaments-1-75-mm/products/com-epc-25-filament-1-75mm-color-change-tpu-temp-lkg-roll

tpc	elastomère thermoplastique	Filament flexible eSun eLastic TPE 1,75 mm	flexible 87 Shore A	esun	chine	https://www.digitmakers.com/products/elastic-tpe-flexible-filaments-1-75mm-lkg-ecolores-colors?variant=2688026968075	non		
PCL	Polycaprolactone	Polycaprolactone D3D PLC	déformer dans l'eau tiède	D3D	digit makers chine	https://www.digitmakers.com/products/polycaprolactone-various-soluble-1-75mm?variant=9246787265572	non		https://www.digitmakers.com/products/polycaprolactone-various-soluble-1-75mm?variant=9246787265572
Com Pla	Composite Pla Électrique	Protospa composite pla électriquement conducteur	électrique	protospa	protospa	https://www.digitmakers.com/products/protospa-composite-pla-electrically-conductive-graphite-1-75mm?variant=43798397963110	non		https://www.matterhackers.com/store/protospa-electrically-conductive-composite-pla-filament-05kg-3d-MU/33A27
PLA	Acide polylactique	temperature couleurs changeante 3 couleurs	temperature couleur	3d prints canada	quebec	https://3dprintscanada.com/products/temperature-color-changing-pla-filament-1-75mm-1kg/	oui		https://www.amazon.ca/-/fr-999089-Capricorn-Lave-thermochromique-tricolore-de-B075GN34T?pf_rd_p=4d13e0a10b2e074070c417184841c1&pf_rd_r=CA-AMAZON&ref=A_NBU_LTC&sh=es71jasMS29-9f4e-NM69f147BqzN0D2agLak8R2jD30M6MoxXlqzJa_g-rXu_LomesCqpfEKrsJlanczFPFH0_T7Gsd3KqyDC780ZedMk4pVAdmncGG3qJ1MS31a3f0nsh5iPb0RWP9akGZ7Eor3k64b_1ac=so8kcvvvt
4D PLA	modified based on PLA material	de filament 4D pour imprimante 3D FDM	shape memory		amazon	https://a.co/d/1x1Bbqg	non		
PP	polypropylene PP	YOUSU Filament polypropylene PP	semi flexible - ultra résistant	Yousu	Amazon	https://a.co/d/ep7SdPl	non		
PVA	Polycacétate de vinyle	Yousu Filament PVA	dissous dans l'eau	Yousu	Amazon	https://a.co/d/serxWE1	non		https://a.co/d/3FvHPW8
4D PLA	modified based on PLA material	de filament 4D pour imprimante 3D FDM	shape memory		amazon	https://a.co/d/3FvHPW8	non		
PC	Polycarbonate	keccelld Filament PC de 1,75 mm, filament en polycarbonate	résistant à la chaleur	keccelld	Amazon	https://a.co/d/1w4E-Xv	oui		https://a.co/d/sgnRgn
pc-pbt	Polycarbonate	Polymaker Filament PC-PBT	résistant au froid	polymaker	Amazon	https://a.co/d/0huYvN	non		
pbb	Butyral de polyvinyle	Filament PVB sans encastrement de 1,75 mm	style résine	Yousu	Amazon	https://a.co/d/0fml74	non		https://a.co/d/2g8Y2oi
smg	shape memory polymer tpu	4D Filament	shape memory	convena	filament2 europe	https://filament2print.com/gb/flexible-tpu-smg-1105-filament-1-75mm-1kg.html#G3-scolore-blae_fresh_mint212_diameter175_mm_260-format-speed_500_g_	non		
FBAI	Thermochromic PBAT	Morph 3D & 4D Printing Filament	temperature couleur ET shape memory	imagin plastic	new zeland	https://www.imaginplastics.co.nz/shop/3D-Printing-Filament-Morph-3D-4D-printing-filament-Morph-1-75mm-PBAT-1-Thermochromic-3d-4d-Morph-1-75-2x75.html	oui		Dr Angelique Greene @scion.research
ptc-4d	Photothermal Dual Response Photochromic	SMP4D Photothermal Dual Response 4D Printing Filament 1.75mm	Photochromic	smg4d	chine	https://smg4d.net/products/smg4d-basis-4d-printing-filament	non		
PLA	Acide p	TEMPERATURE COLOR CHANGING PLA FILAMENT -	TEMPERATURE COLOR	hatchbox	hatchbox	https://www.hatchbox3d.com/collections/shape-all-products/pla-temperature-color-changing-puple-salmon-color-changing-1-75mm-lkg-epos71-rov-18_fid-14835ebf8&_a=8	non		https://a.co/d/1yEjKA

La deuxième page de mon Excel est pour la classification et analyse des impressions que j'ai trouvé sur internet via thigiverse, makerworld, cults3d, printables et d'autres sites. Après un moment, j'ai arrêté de les identifier dans le tableau par manque de temps. En réalité, il y a plus de 60 prototypes trouvés, mais pas tous ont été imprimés. Avec les photos que les créateurs fournissent et les rendues 3D des modélisations, je suis capable de les analyser sans impression. Les prototypes sont imprimés dans la couleur qui correspond sur le tableau, soit en vert pour penture, en orange pour les chaines et en jaune pour la ressemblance avec les tissus.

Liste de tissus flexible print in place qui existe						
#	DATE PRINT	Créateur	NOM	CATÉGORIES	LIEN	Commentaires
001	28 janvier	MAKE ANYTHING	Auxetic Cubes // 18mm 3x3		https://things.com/designer/Make%20Anything/3d-model	
002	29 janvier	ConorMPrints	NASA Chainmail Fabric		https://www.thingiverse.com/thing:2437081/files	
003	1 fevrier	flowalistik	Chainmail - 3D Printable Fabric		https://www.thingiverse.com/thing:3096598/remixes	https://www.thingiverse.com/thing:3290285/files
004	2 fevrier	Nath	Self Supporting chain mail (or fabric?) for 3D printing		https://www.thingiverse.com/thing:50660/files	
005	4 fevrier	david mussaffi	Seg Wave - Experimental 3D Fabric		https://www.thingiverse.com/thing:1321527/files	not print in place
006	4 fevrier	martin hoffman	Printable fabric (symmetric, no bridges, no supports)		https://www.thingiverse.com/thing:2956854/files	
007	2 fevrier	Trombo	Fabric of Thyme 2.0 chainmail		https://www.thingiverse.com/thing:2990070/files	
008	2 fevrier	threelittleprintz	Cubemail Fabric		https://www.thingiverse.com/thing:2674272/files	
009	2 fevrier	flowalistik	Chainmail 2.0 - Modular 3D Printable Fabric		https://www.thingiverse.com/thing:3290285/files	version 2 de 003
010	2 fevrier	zomboe	Chainmail		https://www.thingiverse.com/thing:8724/files	
011	2 fevrier	kazzee	Armor Mesh		https://www.thingiverse.com/thing:245474/files	
012	3 fevrier	drewrt	3D printed fabric/ armour		https://www.thingiverse.com/thing:3112944/files	
013	2 fevrier	david mussaffi	3D Fabric8		https://www.thingiverse.com/thing:992617/files	
014	3 fevrier	jbergmans	Flat fabric (3mm) 8x8 fabric		https://www.thingiverse.com/thing:4917301/files	
015	4 fevrier	yicydes	Cell Mesh		https://www.thingiverse.com/thing:2158265/files	
016	4 fevrier	azulverdoso	3D printing collar		https://www.thingiverse.com/thing:4586142/files	bad print
017	5 fevrier	emmett	Extensible Chainmail		https://www.thingiverse.com/thing:68848/files	
018	5 fevrier	Hammer79	Fabric Mesh		https://www.thingiverse.com/thing:2657604/files	
019	4 fevrier	neobobkrause	FlexMesh 1.0 -- Flexible Chainmail Mesh		https://www.thingiverse.com/thing:423189/files	
020	5 fevrier	ACaielli	Modular mesh		https://www.thingiverse.com/thing:786449/files	
021	----	zopo	Modular Patches (Square & Petals)	laser cut template	https://www.thingiverse.com/thing:3823908/files	not a print
022	4 fevrier	craeen	Tatted Lace Collar		https://www.thingiverse.com/thing:2084127/files	
023	5 fevrier	mattmoses	TriMail		https://www.thingiverse.com/thing:9081/files	
024	----	3DSL A	Metal Textile form 3DSL A		https://www.thingiverse.com/thing:6029077/files	too thin
025					https://www.thingiverse.com/thing:2788117	