

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان  
Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -  
Faculté de TECHNOLOGIE



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

**En** : Génie Mécanique

**Spécialité** : Construction Mécanique

**Par** : CHENTOUFI Marwa

## Sujet

**Etude comparative et développent d'un outil d'aide au choix des matériaux d'impression  
3D appliqué à la technologie FDM**

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

M KHOUANE Meftah	Professeur	Université de Tlemcen	Président
M BELKAID Mohamed	MAA	Université de Tlemcen	Examineur
M CHELKH Abdelmadjid	Professeur	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire : 2023 /2024

## *Dédicace*

Je dédie ce projet de fin d'études à ma famille et à mes amis, dont le soutien inébranlable et l'amour inconditionnel ont été une source constante de motivation et d'inspiration.

À mes chers parents, je vous remercie du fond du cœur pour vos sacrifices, votre patience et vos encouragements inlassables. Votre confiance en mes capacités m'a donné la force de surmonter les moments difficiles et de persévérer jusqu'au bout.

À mes sœurs (Asma, Malek) et mon frère, merci pour votre amour, votre soutien et votre présence bienveillante.

À mes amis(e) et toute personne proche (Ali, Musab, Miral, F.Mohamed, Rayhana, Rania, Chahinez, Badro) chacun de vous a joué un rôle unique. Merci pour votre camaraderie, vos conseils avisés et ces instants précieux de joie et de détente.

Merci

CHENTOUFI Marwa

## ***Remerciement***

Toute ma parfaite gratitude et remerciement à ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la force pour la réalisation de cet humble travail.

Je tiens à remercier tous mes profs particulièrement Monsieur CHEIKH Abdelmadjid qui m'a encadré tout au long de la réalisation de ce projet, je le remercie pour sa patience, sa disponibilité et le temps qu'il m'a consacré pour répondre à mes innombrables questions.

Je tiens également à remercier les membres de jury, le président Monsieur KHOUANE Meftah et l'examineur Monsieur BELKAID Mohamed d'avoir accepté de juger ce modeste travail et d'avoir pris sur eux la charge d'examiner et de corriger le fruit de nos efforts, je vous en somme reconnaissants et en espérant être à la hauteur de votre confiance.

## **Résumé**

Dans ce travail une étude comparative et développement d'un outil d'aide au choix des matériaux d'impression 3D appliqué à la technologie FDM est effectuée.

La première partie explore les fondamentaux de l'impression 3D, en mettant l'accent sur la technologie FDM (Fused Deposition Modeling). Cette technologie utilise des matériaux thermoplastiques, tels que l'ABS et le PLA, qui sont extrudés à travers une buse pour construire des objets couche par couche. Les propriétés des matériaux, ainsi que leurs avantages et applications, sont également abordés.

La deuxième partie se concentre sur la collecte et l'extraction de données relatives à différents matériaux et technologies d'impression. Une comparaison est réalisée selon des critères tels que la résistance à la traction, le coût et les applications potentielles. Cette analyse permet d'identifier les avantages et les inconvénients de chaque matériau et d'orienter les choix.

La dernière partie décrit le processus de création d'une base de données à l'aide de Access. Cette base de données permet de stocker les informations recueillies sur les matériaux sous forme de tableaux. Des tests de choix sont effectués à partir des requêtes basées sur un seul critère, puis sur deux ou trois critères.

Cette étude met en évidence, d'une part, la collecte et l'extraction des données ainsi que leur classification. D'autre part, elle aborde la création d'une base de données exploitée sous le Microsoft Access, accompagnée de tests de fonctionnement de la programmation et de tests de choix, incluant des requêtes basées sur un, deux ou trois critères, qui ont donné de bons résultats.

## **Mots clés**

Impression 3D, FDM, FFF, Microsoft Access, Prototypage rapide, matériaux d'impression 3d

## **Abstract**

In this work, a comparative study and the development of a decision-support tool for 3D printing materials applied to FDM technology are conducted.

The first part explores the fundamentals of 3D printing, focusing on FDM (Fused Deposition Modeling) technology. This technology uses thermoplastic materials, such as ABS and PLA, which are extruded through a nozzle to build objects layer by layer. The properties of these materials, as well as their advantages and applications, are also discussed.

The second part focuses on the collection and extraction of data related to different materials and printing technologies. A comparison is made based on criteria such as tensile strength, cost, and potential applications. This analysis helps identify the advantages and disadvantages of each material and guide the decision-making process.

The last part describes the process of creating a database using Access. This database allows for the storage of the collected information about the materials in table format. Choice tests are conducted using queries based on a single criterion, then on two or three criteria.

This study highlights, on one hand, the collection and extraction of data as well as their classification. On the other hand, it addresses the creation of a database operated within Access, accompanied by programming functionality tests and choice tests, including queries based on one, two, or three criteria, which yielded positive results.

## **Keywords**

3D printing, FDM, FFF, Microsoft Access, Rapid prototyping, 3d printing materials.

### ملخص

في هذا العمل، تم إجراء دراسة مقارنة وتطوير أداة لدعم القرار لمواد الطباعة ثلاثية الأبعاد المطبقة على التكنولوجيا. يستكشف الجزء الأول أساسيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، مع التركيز على تقنية (نمذجة الترسيب المندمج). تستخدم هذه التقنية مواد ترموبلاستيكية، مثل PLA وABS والتي يتم بثقها من خلال فوهة لبناء الأشياء طبقة تلو الأخرى. كما تمت مناقشة خصائص هذه المواد، بالإضافة إلى مزاياها وتطبيقاتها.

يركز الجزء الثاني على جمع واستخراج البيانات المتعلقة بمواد وتقنيات طباعة مختلفة. تتم المقارنة بناءً على معايير مثل قوة الشد والتكلفة والتطبيقات المحتملة. يساعد هذا التحليل في تحديد مزايا وعيوب كل مادة وتوجيه عملية اتخاذ القرار.

يصف الجزء الأخير عملية إنشاء قاعدة بيانات باستخدام Access .

تسمح هذه القاعدة بتخزين المعلومات المجمعة حول المواد في شكل جدول. يتم إجراء اختبارات الاختيار باستخدام الاستعلامات بناءً على معيار واحد، ثم على معيارين أو ثلاثة معايير.

تسلط هذه الدراسة الضوء من ناحية على جمع واستخراج البيانات بالإضافة إلى تصنيفها. ومن ناحية أخرى، يتناول إنشاء قاعدة بيانات تعمل داخل Access مصحوبة باختبارات وظائف البرمجة واختبارات الاختيار، بما في ذلك الاستعلامات المبنية على معيار واحد أو اثنين أو ثلاثة معايير، والتي أسفرت عن نتائج إيجابية.

### الكلمات الرئيسية

Access، ميكروسوفت، FFF، FDM، الطباعة ثلاثية الأبعاد، النماذج الأولية السريعة، مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد،

# TABLE DES MATIERES

---

## Table des matières

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : PRINCIPE D'IMPRESSION 3D ET TECHNOLOGIE FDM .....</b>	<b>1</b>
<b>I.1 INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
<b>I.2 HISTORIQUE DE L'IMPRESSION 3D [1] .....</b>	<b>2</b>
<b>I.3 DIFFERENTES TECHNOLOGIES D'IMPRESSION 3D [2] .....</b>	<b>3</b>
I.3.1 DEPOT DE FIL OU EXTRUSION (FFF ET FDM) .....	3
I.3.2 PHOTOPOLYMERISATION (SLA, DLP, LCD) .....	3
I.3.3 FUSION DE POUDRE (SLS, SLM, DMLS).....	4
<b>I.4 FONDEMENTS DE LA TECHNOLOGIE FDM [5].....</b>	<b>6</b>
I.4.1 DEFINITION DE L'IMPRESSION 3D FDM .....	6
I.4.2 HISTORIQUE DE LA TECHNOLOGIE FDM [6] .....	6
<b>I.5 PROCESSUS DE LA TECHNOLOGIE FDM.....</b>	<b>7</b>
I.5.1 PRINCIPE DE BASE D'IMPRESSION FDM [7].....	7
I.5.2 MATERIAUX UTILISE DANS L'IMPRESSION FDM [8] .....	10
I.5.2.1 ABS.....	10
I.5.2.2 Le PLA.....	11
I.5.2.3 PETG.....	11
I.5.2.4 ASA.....	12
I.5.2.5 TPU.....	12
I.5.2.6 PC.....	13
I.5.2.7 PP.....	13
I.5.2.8 Le nylon ou PA .....	14
I.5.2.9 Fibre de Carbone (CF) Renforcé .....	14
I.5.2.10 Fibre de Verre (GF) Renforcé.....	15
<b>I.6 CONCLUSION .....</b>	<b>16</b>
<b>CHAPITRE II : COLLECTE ET EXPLOITATION DES DONNEES .....</b>	<b>2</b>
<b>II.1 INTRODUCTION .....</b>	<b>17</b>
<b>II.2 PRESENTATION DES DONNEES COLLECTEES.....</b>	<b>17</b>
II.2.1 DONNEES ISSUS DU CONCEPTEUR DE SYSTEME FAO DE TRANCHAGE SIMPLIFY3D [9] .....	17
II.2.2 DONNEES ISSUS DU FABRICANT DE MATERIAUX eSUN3D [10] .....	20
II.2.3 DONNEES ISSUS DU CONSTRUCTEUR RAISE3D [8].....	23
<b>II.3 EXTRACTION DE DONNEES EXPLOITABLES.....</b>	<b>25</b>
II.3.1 CLASSIFICATION PRIMAIRE EN FONCTION DES APPLICATIONS .....	25
II.3.1.1 Pour les supports .....	26
II.3.1.2 Pour les présentations et prototypes [7] .....	26
II.3.1.3 Pour les pièces fonctionnelles [7].....	26
II.3.2 CLASSIFICATION SECONDAIRE PAR DIFFERENTS CRITERES .....	27
II.3.2.1 Critère de résistance à la traction [10].....	27
II.3.2.2 Critère de la Résistance aux chocs [10] .....	27

# TABLE DES MATIERES

---

II.2.2.3 Critère de la Raideur [9] .....	28
II.2.2.4 Critère de Temperature maximal de service [9].....	28
II.2.2.5 Critère de Température de distorsion thermique [10].....	29
II.2.2.6 Critère de Imprimabilité [9] .....	30
II.2.2.7 Critère de Prix .....	30
II.2.2.8 Critère de l'usure de la buse [13] .....	31
<b>II.3 CONCLUSION .....</b>	<b>32</b>
<b>CHAPITRE III : PROGRAMMATION DE LA BASE DE DONNEES DES MATERIAUX.....</b>	<b>17</b>
<b>III.1 INTRODUCTION .....</b>	<b>32</b>
<b>III.2 PRESENTATION DU SYSTEME ACCESS [12].....</b>	<b>32</b>
III.2.1 FONCTIONNALITES PRINCIPALES DE ACCESS .....	32
III.2.2 AVANTAGES D'UTILISATION DE MICROSOFT ACCESS .....	32
<b>III.3 MODELISATION DE LA BASE DE DONNEES .....</b>	<b>33</b>
III.3.1 DEFINITION DES TABLES PRINCIPALES DANS ACCESS .....	33
III.3.1.1 Table du Matériaux.....	33
III.3.1.2 Table d'Applications.....	33
III.3.1.3 Table du Critères.....	33
III.3.2 TABLES ASSOCIATIVES POUR LES RELATIONS PLUSIEURS-A-PLUSIEURS .....	34
III.3.2.1 Table de Matériaux_Applications .....	34
III.3.2.2 Table de Matériaux_Critères .....	34
III.3.3 RELATIONS ET INTEGRITE DES DONNEES .....	34
<b>III.4 CREATION ET PROGRAMMATION DES TABLES DANS ACCESS .....</b>	<b>35</b>
III.4.1 CREATION DES TABLES .....	35
III.4.2 DEFINITION DES RELATIONS ENTRE LES TABLES.....	36
III.4.3 PROGRAMMATION DANS ACCESS.....	37
III.4.3.1 Requêtes dans Access.....	37
III.4.3.2 Formulaire et interfaces utilisateur.....	40
<b>III.5 TESTS DE VALIDATION DE LA BASE DE DONNEES .....</b>	<b>41</b>
III.5.1 TEST DE VALIDATION DE LA LIAISON ENTRE LES TABLES .....	42
III.5.2 TEST DE LA SUPPRESSION D'UN ENREGISTREMENT .....	43
<b>III.6 TESTS DE CHOIX.....</b>	<b>44</b>
III.6.1 EXEMPLE DE REQUETE AVEC UN CRITERE .....	44
III.6.2 EXEMPLE DE REQUETE AVEC DEUX CRITERES.....	46
III.6.3 EXEMPLE DE REQUETE AVEC TROIS CRITERES .....	47
<b>III.7 CONCLUSION .....</b>	<b>48</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>49</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>50</b>

## Liste des tableaux

Tableau I.1 Applications et avantages de ABS [8].....	10
Tableau I.2 Applications et avantages de PLA [8] .....	11
Tableau I.3 Applications et avantages de PETG [8].....	11
Tableau I.4 Applications et avantages de ASA [8] .....	12
Tableau I.5 Applications et avantages de TPU [8] .....	12
Tableau I.6 Applications et avantages de PC [8].....	13
Tableau I.7 Applications et avantages de PP [8] .....	14
Tableau I.8 Applications et avantages de PA [8].....	14
Tableau I.9 Applications et avantages de CF [8].....	15
Tableau I.10 Applications et avantages de GF [8].....	15
Tableau II.1 Paramètres des 6 premiers types des matériaux d'après Simplify3d [9] .....	18
Tableau II.2 Paramètres des 7 deuxième types des matériaux d'après Simplify3d [9] .....	19
Tableau II.3 Paramètres des matériaux d'après esun3d [10].....	20
Tableau II.4 Paramètres des matériaux d'après Raise3D [8] .....	24
Tableau II.5 Classifications des matériaux pour présentation [7] .....	26
Tableau II.6 Classification des matériaux fonctionnels [7] .....	26
Tableau II.7 Valeurs de résistance à la traction pour différents matériaux [10] .....	27
Tableau II.8 Valeurs de résistance aux chocs pour différents matériaux [10].....	28
Tableau II.9 Evaluation de la raideur des matériaux [9] .....	28
Tableau II.10 Valeurs de température maximale de service pour différents matériaux [9].....	29
Tableau II.11 Valeurs Température de distorsion thermique des différents matériaux [10] .....	29
Tableau II.12 Evaluation d'imprimabilité des matériaux [9] .....	30
Tableau II.13 Prix des matériaux d'après 4dfiltration [11] .....	30
Tableau II.14 Classification des matériaux selon leurs prix .....	31
Tableau II.15 Classification des matériaux abrasifs [13] .....	31

## Liste des figures

Figure I.1 Schéma d'impression dépôt de fil fondu [3].....	3
Figure I.2 Schéma d'impression 3D résine [2].....	4
Figure I.3 Schéma d'imprimante 3D technologie SLS [4].....	4
Figure I.4 Schéma d'imprimante 3D technologie SLM [4].....	5
Figure I.5 Schéma d'imprimante 3D technologie DMLS [4].....	5
Figure I.6 Plateau d'imprimante 3d (RAISE3D) du Laboratoire IS2M.....	7
Figure I.7 Bobine de filament d'imprimante 3d (RAISE3D) du Laboratoire IS2M.....	8
Figure I.8 Extrudeur d'imprimante 3d (RAISE3D) du Laboratoire IS2M.....	8
Figure I.9 Système de mouvement d'impression d'imprimante 3d (RAISE3D) du Laboratoire IS2M.....	9
Figure I.10 Tête d'impression d'imprimante 3d (RAISE3D) du Laboratoire IS2M.....	9
Figure III.1 Table du Matériaux.....	35
Figure III.2 Table d'Applications.....	35
Figure III.3 Table du Critères.....	35
Figure III.4 Table de Matériaux_Applications.....	36
Figure III.5 Table de Matériaux_Critères.....	36
Figure III.6 Schéma des relations entre les tables.....	36
Figure III.7 Illustration des relations entre les tableaux Matériaux, Critères et Matériaux_Critères.....	37
Figure III.8 Création requête des matériaux selon le Critère Prix et Valeur Textuelle prix mini.....	38
Figure III.9 Résultat de requête des matériaux de critère Prix et Valeur Textuelle prix mini.....	38
Figure III.10 Création d'une requête des matériaux selon l'Application Support.....	39
Figure III.11 Résultat de requête des matériaux d'Application Support.....	39
Figure III.12 Création d'une requête des matériaux ayant l'usure de la buse.....	40
Figure III.13 Résultat de la requête des matériaux présentant l'usure de la buse.....	40
Figure III.14 Formulaire associé à la table des Critères de Résistance à la traction.....	41
Figure III.15 Formulaire associé à la table de Matériaux_Critères.....	41
Figure III.16 Création de la requête pour le matériau ABS et ses applications.....	42
Figure III.17 Résultat de la requête concernant le matériau ABS et ses applications.....	42
Figure III.18 Table des Matériaux.....	43
Figure III.19 Table des Matériaux avec suppression du matériau PLA.....	43
Figure III.20 Vérification de la suppression automatique du matériau PLA (ID 2) dans la table Matériaux_Applications.....	44
Figure III.21 Création de requête des matériaux selon le critère Résistance aux chocs d'une valeur $\leq 12$ .....	45
Figure III.22 Résultat de la requête des matériaux selon le critère résistance aux chocs d'une valeur $\leq 12$ .....	45
Figure III.23 Création de requête des matériaux selon deux critères résistance aux chocs $\leq 12$ et la température maximale de service $\leq 80$ .....	46
Figure III.24 Résultat de la requête des matériaux selon deux critères.....	46
Figure III.25 Création de requête des matériaux selon trois critères.....	47
Figure III.26 Résultat de la requête des matériaux selon les trois critères.....	48

## **Glossaire**

FDM : Fused Deposition Modeling

FFF : Fused Filament Fabrication

SLS : Selective Laser Sintering

DLP : Digital Light Processing

LCD : Liquid Crystal Display

SLS : Selective Laser Sintering

SLM : Selective Laser Melting

DMLS : Direct Metal Laser Sintering

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styrène

PLA : Acide Polyactique

PETG : Polyéthylène Téréphtalate Glycol

ASA : Acrylonitrile Styrène Acrylate

TPU : Polyuréthane Thermoplastique

PC : Polycarbonate

PP : Polypropylène

PA : Polyamide, ou Nylon

CF : Carbone renforcé

GF : Verre renforcé

FAO : Fabrication assistée par ordinateur

## *Introduction générale*

La FDM est une méthode d'impression 3D qui fonctionne en déposant des couches de matériau thermoplastique. Un filament est chauffé et extrudé à travers une buse, créant des objets en ajoutant successivement des couches. Cette technologie est appréciée pour sa facilité d'utilisation, son coût abordable et sa capacité à produire des pièces solides pour diverses applications, allant des prototypes aux pièces finales. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui a comme objectif l'étude de comparer les différents matériaux utilisés dans la technologie FDM en fonction de plusieurs critères et applications. Nous allons également créer un programme sur Microsoft Access pour organiser l'ensemble des données collectées et réaliser des tests de choix permettant d'identifier les matériaux les plus adaptés aux besoins spécifiques.

Dans cette optique, le premier chapitre présente une introduction complète à l'impression 3D et à la technologie FDM, en mettant en lumière les matériaux disponibles, leurs propriétés et leurs applications potentielles. Cette compréhension approfondie des matériaux est essentielle pour déterminer leur adéquation par rapport aux différentes exigences de fabrication.

Le deuxième chapitre se concentre sur la collecte des données, en examinant les critères utilisés pour comparer les matériaux. Ces critères permettront d'évaluer les performances des matériaux selon différents aspects, tels que la résistance à la traction, la durabilité et le coût, facilitant ainsi une prise de décision éclairée.

Enfin, le troisième chapitre est dédié à l'utilisation de Microsoft Access pour créer une base de données, pour organiser et gérer les données collectées. Cette base de données est structurée en plusieurs tables, permettant une analyse efficace des informations. De plus, l'outil de choix intégré dans la base de données Access est programmé sous forme d'un ensemble de requêtes. Des tests de choix sont réalisés pour aider à sélectionner les matériaux les plus adaptés en fonction des critères définis.

***CHAPITRE I : Principe d'impression 3D et  
Technologie FDM***

## I.1 Introduction

L'impression 3D est une technologie de fabrication additive qui permet de créer des objets physiques en superposant des couches successives de matériau, généralement à partir de modèles numériques tridimensionnels (3D). Contrairement aux méthodes traditionnelles de fabrication qui impliquent le retrait de matière par des processus de découpe ou de façonnage, l'impression 3D construit les objets de manière additive, couche par couche, offrant ainsi une grande flexibilité de conception et ouvrant de nouvelles possibilités dans de nombreux domaines, tels que l'industrie, la médecine, l'aérospatiale, l'architecture et l'art. Cette technologie permet la fabrication rapide de prototypes, de pièces personnalisées et de produits finis, tout en réduisant les délais de production et en offrant des économies de coûts significatives par rapport aux méthodes de fabrication traditionnelles. En permettant une personnalisation à grande échelle et une fabrication à la demande, l'impression 3D est en train de transformer radicalement les processus de fabrication et de stimuler l'innovation dans de nombreux secteurs.

## I.2 Historique de l'impression 3D [1]

La première imprimante 3D est née en 1981, lorsque le Dr Hideo Kodama a inventé l'une des premières machines de prototypage rapide permettant de créer des pièces couche par couche, en utilisant une résine pouvant être polymérisée par la lumière UV. En 1986, le premier brevet pour la stéréolithographie (SLA) a été déposé par Chuck Hull, considéré comme « l'inventeur de l'impression 3D » pour avoir créé et commercialisé à la fois le SLA et le format. stl – le type de fichier le plus couramment utilisé pour l'impression 3D. En 1988, Carl Deckard, étudiant à l'Université du Texas, a obtenu une licence pour la technologie de frittage sélectif par laser (SLS), un autre type d'impression 3D qui utilise un laser pour fritter un matériau en poudre en structures solides. Peu de temps après, en 1989, Scott Crump a breveté la modélisation par dépôt fondu (FDM) – également connue sous le nom de fabrication de filaments fondus (FFF) – et a fondé Stratasys, l'un des principaux acteurs de l'industrie de l'impression 3D à ce jour. La même année, la société de Hull, 3D Systems Corporation, a lancé l'imprimante 3D SLA-1.

Dans les années 2000 l'impression 3D devient de plus en plus accessible avec la commercialisation de machines moins coûteuses et l'amélioration des logiciels de modélisation 3D.

Les applications de l'impression 3D commencent à se diversifier dans divers secteurs, notamment l'industrie, la médecine, l'éducation et la fabrication de produits de consommation.

## I.3 Différentes technologies d'impression 3D [2]

De nombreuses technologies d'impression 3D sont déjà disponibles sur le marché, et un certain nombre sont en cours de développement. Chacune de ces technologies requiert un type de matériau d'impression 3D différent.

### I.3.1 Dépôt de fil ou extrusion (FFF et FDM)

Un filament plastique est fondu et déposé sur une plateforme d'impression, formant l'objet couche après couche.

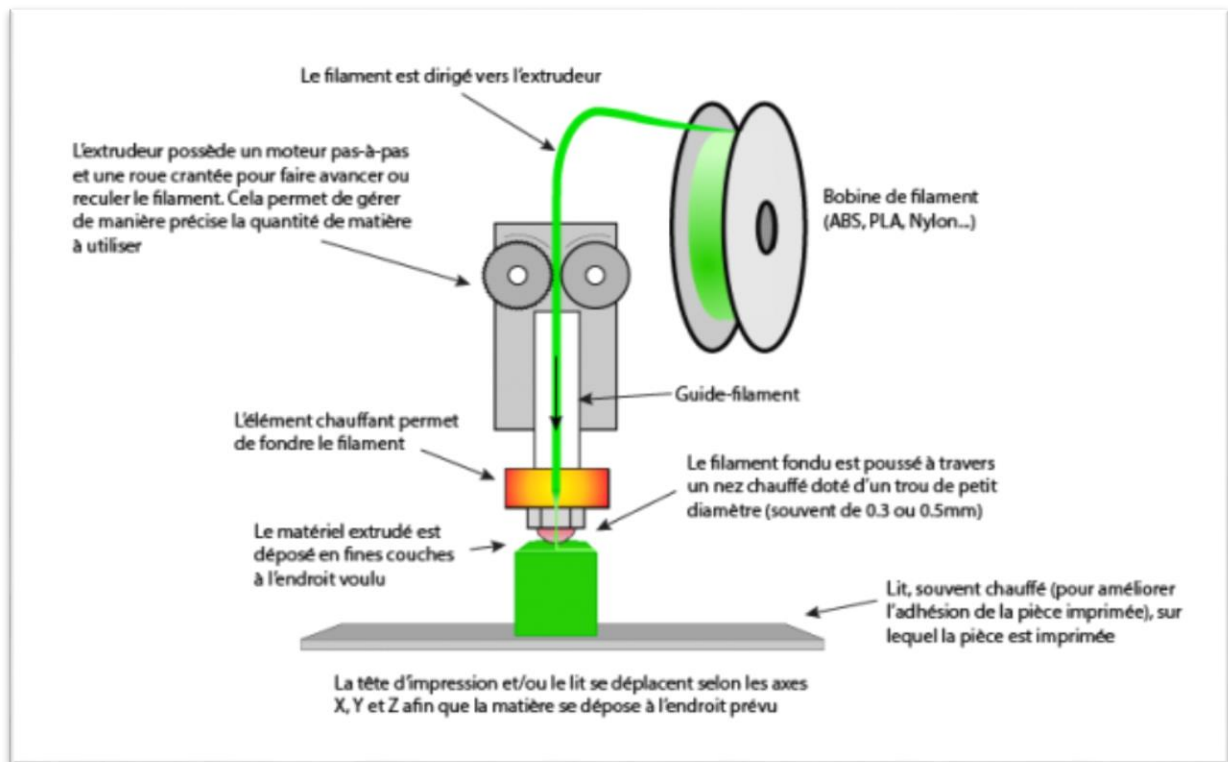


Figure I.1 Schéma d'impression dépôt de fil fondu [3]

### I.3.2 Photopolymérisation (SLA, DLP, LCD)

Un laser ou une source de lumière solidifie une résine liquide et photosensible, point par point (SLA laser) ou couche par couche (DLP, LCD).

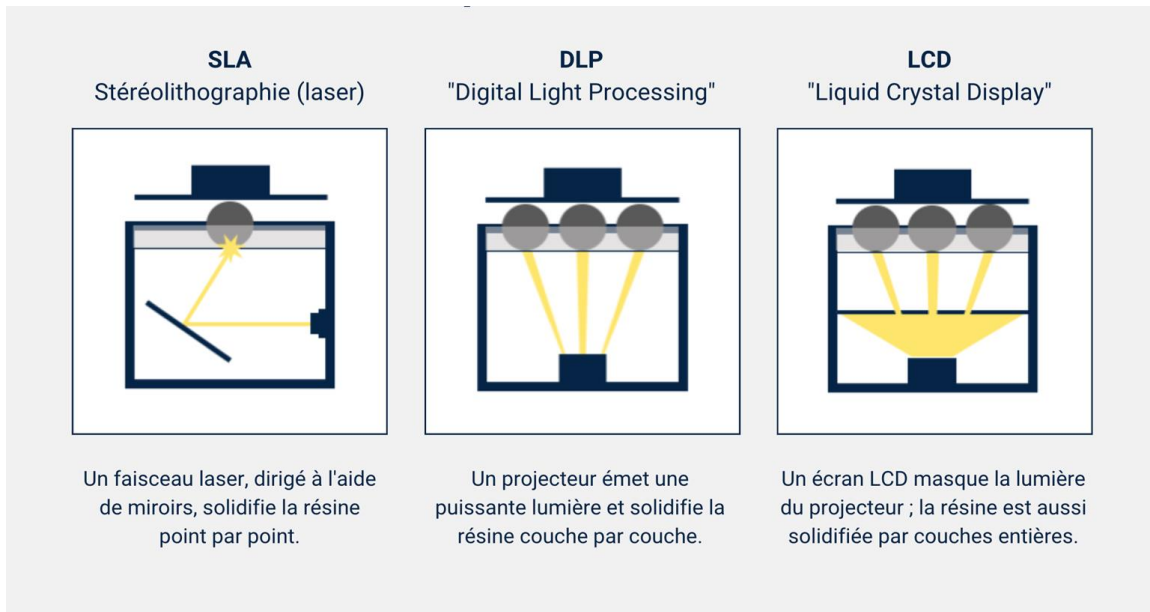


Figure I.2 Schéma d'impression 3D résine [2]

### I.3.3 Fusion de poudre (SLS, SLM, DMLS)

Un laser fusionne des particules de poudre point par point.

La figure I.3 en bas, présente l'imprimante 3D technologie SLS.

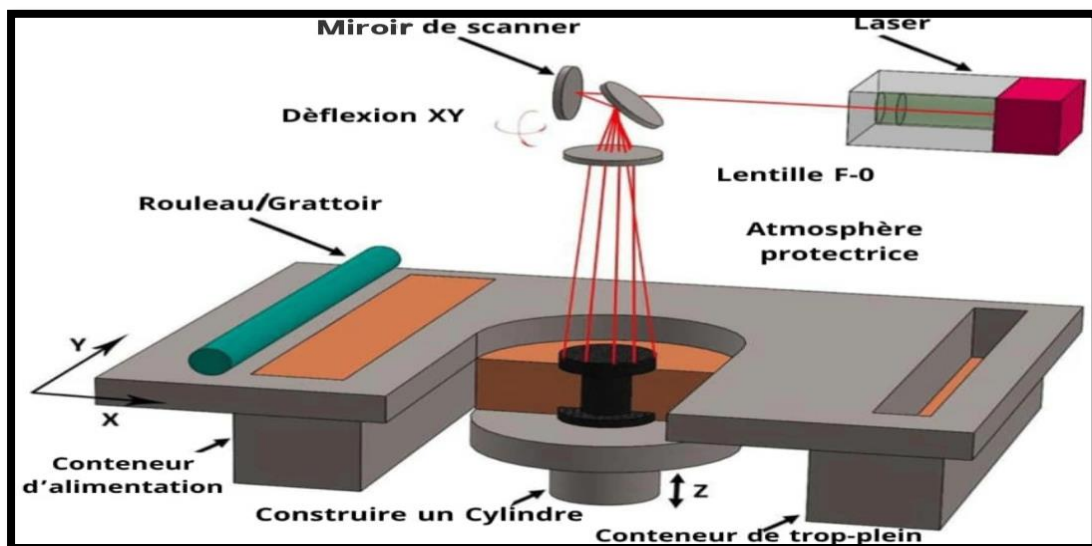


Figure I.3 Schéma d'imprimante 3D technologie SLS [4]

La figure I.4 présente l'imprimante 3D technologie SLM.

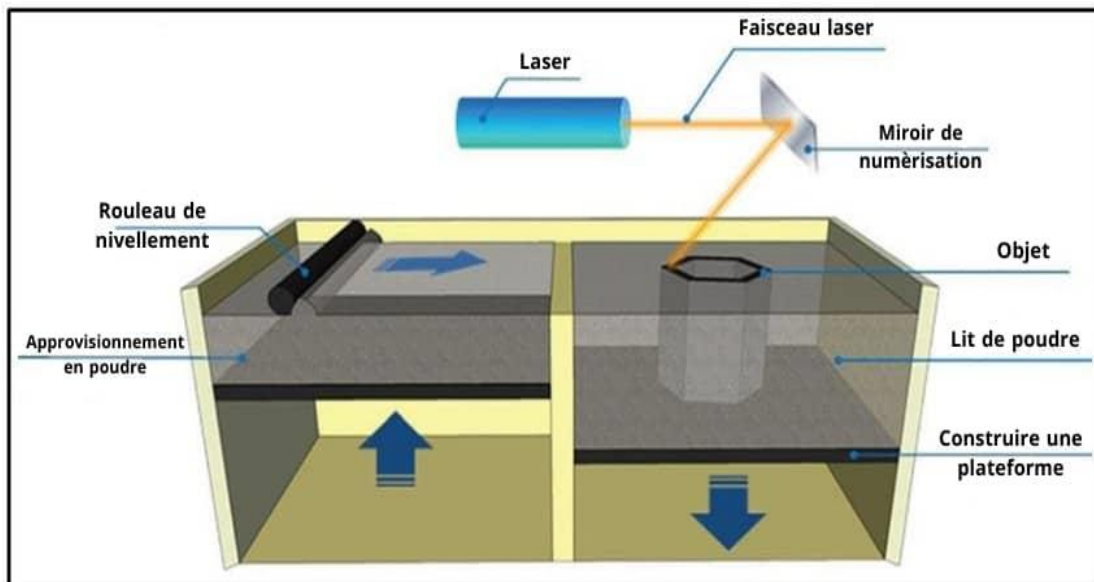


Figure I.4 Schéma d'imprimante 3D technologie SLM [4]

La figure I.5 présente l'imprimante 3D technologie DMLS.

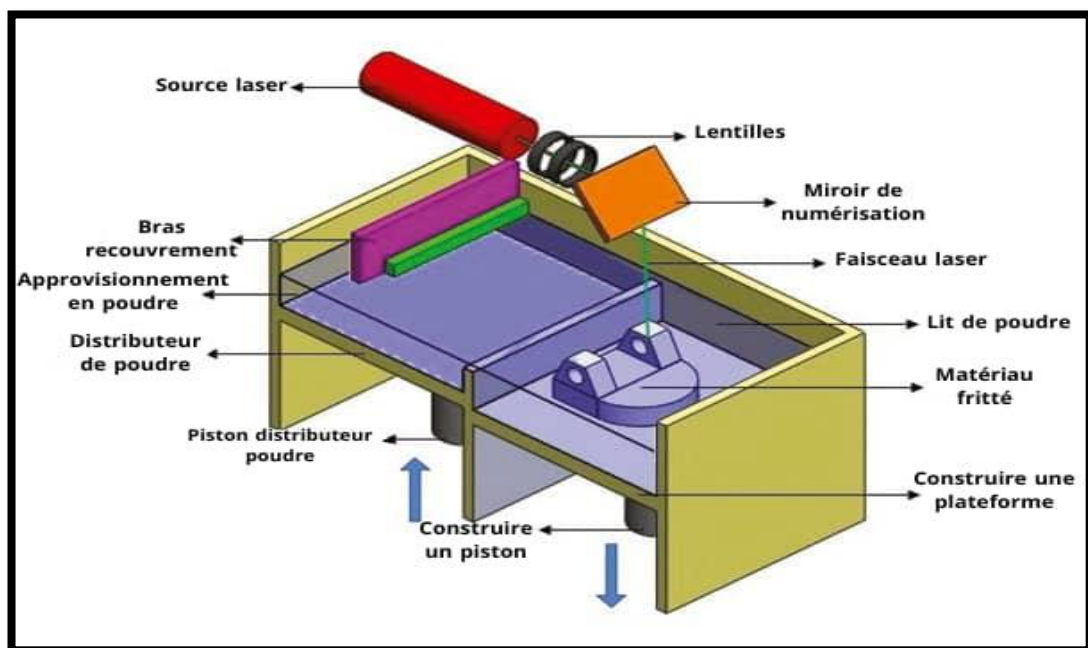


Figure I.5 Schéma d'imprimante 3D technologie DMLS [4]

## **I.4 Fondements de la Technologie FDM [5]**

### **I.4.1 Définition de l'impression 3D FDM**

La modélisation par dépôt de matière fondue, ou FDM en abrégé, est une méthode de fabrication additive par extrusion de matériaux dans laquelle les matériaux sont extrudés par une buse et déposés couche par couche pour créer des objets en 3D.

Une imprimante 3D FDM typique utilise donc un filament à base de polymère et le fait passer par une buse chauffée, qui fait fondre le matériau et le dépose en couches 2D sur la plateforme de construction. Encore chaudes, ces couches fusionnent les unes avec les autres pour créer une pièce tridimensionnelle.

Généralement considérée comme le moyen le plus simple d'imprimer des objets en 3D. La technologie FDM est accessible, raisonnablement efficace et très populaire.

Les imprimantes FDM dominent le marché de l'impression 3D, étant remarquablement plus simples que l'impression 3D en résine et massivement moins chères que les méthodes à base de poudre, comme le SLS.

### **I.4.2 Historique de la technologie FDM [6]**

L'idée du FDM est venue à Crump alors qu'il fabriquait une grenouille pour sa fille à l'aide d'un pistolet à colle et d'un mélange de polyéthylène et de cire de bougie. Il s'est rendu compte qu'il pouvait utiliser le même concept pour fabriquer des objets tridimensionnels, et c'est ainsi qu'est né le FDM.

Le premier prototype FDM a été créé en 1988 et s'appelait la machine "Fused Deposition Modeling". La machine était conçue pour imprimer des pièces thermoplastiques en faisant fondre la matière plastique et en la déposant couche par couche. En 1990, la première machine FDM a été vendue et, au début des années 2000, la FDM a été largement adoptée par de nombreuses industries.

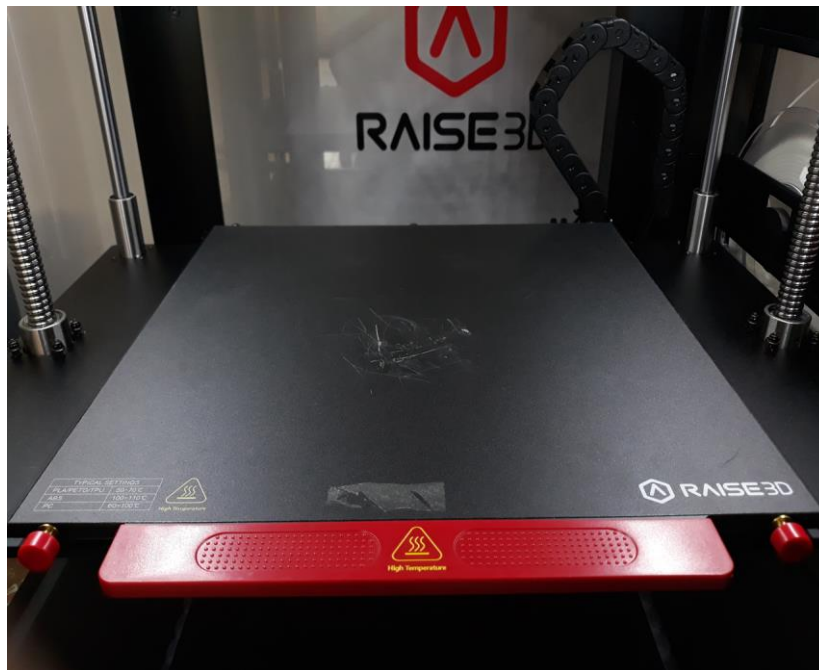
Aujourd'hui, la technologie FDM est utilisée dans de nombreux secteurs, notamment l'aérospatiale, l'automobile, les soins de santé et l'éducation.

## **I.5 Processus de la technologie FDM**

### **I.5.1 Principe de base d'impression FDM [7]**

Le processus de dépôt de matériau fondu, illustré ici par l'exemple de la technologie Fused Deposition Modeling (FDM), est une méthode d'impression 3D qui son fonctionne selon cinq éléments principaux :

L'élément 1 est le plateau d'impression sur lequel est imprimée la pièce. Comme le montre la figure I.6.



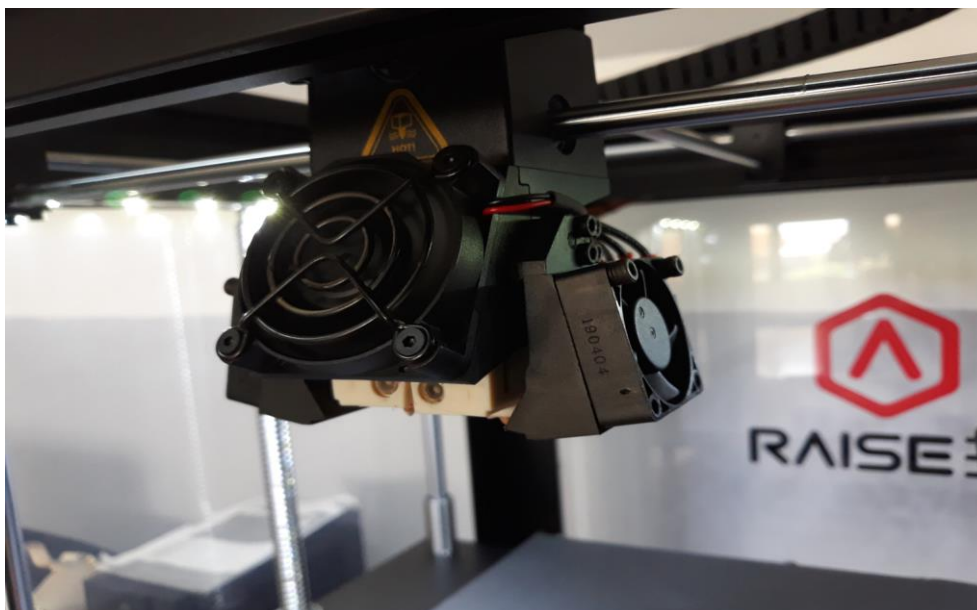
**Figure I.7 Plateau d'imprimante 3d (RAISE3D) du Laboratoire IS2M**

L'élément 2 est une bobine de filament qui sert de matériau d'impression. La figure I.7 montre les deux bobines de filament de l'imprimant raised3d. Parce qu'elle comporte deux extrudeurs



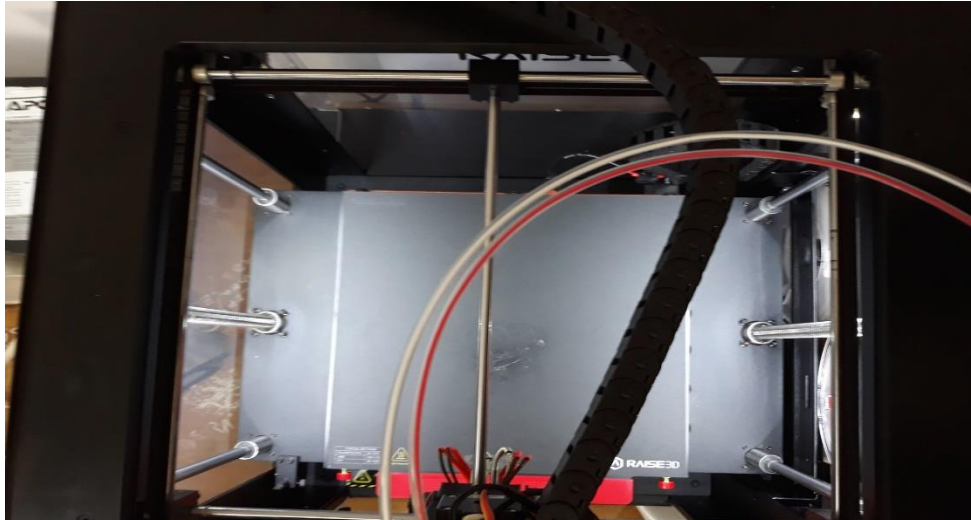
**Figure I.8 Bobine de filament d'imprimante 3d (RAISE3D) du Laboratoire IS2M**

L'élément 3 est un extrudeur (un moteur pas à pas avec système d'entraînement) qui achemine le filament, le chauffe et l'extrude pour imprimer. La figure I.8 montre la tête d'impression composé de deux extrudeurs de l'imprimante 3d.



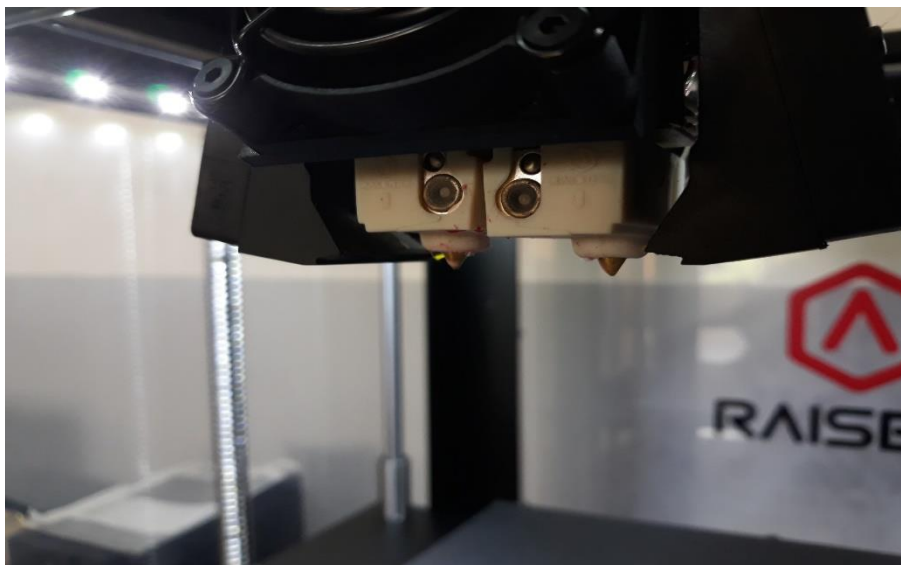
**Figure I.9 Extrudeur d'imprimante 3d (RAISE3D) du Laboratoire IS2M**

L'élément 4 est un système de mouvement pour déplacer la tête sur les axes X, Y et le plateau sur l'axe Z pour former les objets en 3 dimensions. La figure I.9 montre une vue dans haut de l'espace de mouvement de l'extrudeur.



**Figure I.10** Système de mouvement d'impression d'imprimante 3d (RAISE3D) du Laboratoire IS2M

L'élément 5 est la tête d'impression (buse) qui dépose le matériau couche après couche. La figure I.10 montre les deux buses gauches et droite de l'imprimante



**Figure I.11** Tête d'impression d'imprimante 3d (RAISE3D) du Laboratoire IS2M

Dans la plupart des cas, le FDM est utilisé pour imprimer un thermoplastique qui est inséré dans l'imprimante sous forme de filament. Celui-ci est entraîné par un moteur appelé extrudeur jusqu'à la tête d'impression, ou hotend, qui est la partie où le matériau atteint la température de fusion grâce à une résistance et fond, pour être ensuite extrudé à travers une fine buse.

## I.5.2 Matériaux utilisés dans l'impression FDM [8]

L'impression 3D Fused Deposition Modeling (FDM) utilise une variété de matériaux thermoplastiques pour créer des objets en couches successives. Chaque matériau a ses propres propriétés et avantages. Dans ce qui suit on va décrire les matériaux couramment utilisés en impression 3D FDM :

### I.5.2.1 ABS

ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) est un filament thermoplastique d'impression 3D caractérisé par sa fiabilité, sa rigidité, sa solidité et sa résistance aux chocs. Il présente également une stabilité dimensionnelle et une résistance chimique plus élevées. Ces fonctionnalités le rendent utile pour l'ingénierie, le prototypage, les tests fonctionnels, l'assemblage de pièces et bien plus encore. Les pièces imprimées en ABS 3D sont utilisées dans les boîtiers électroniques, les jouets et les pièces de carrosserie automobile, pour n'en nommer que quelques-uns. Ces applications et avantages sont résumés dans le tableau I.1 suivant :

**Tableau I.2 Applications et avantages de ABS [8]**

<b>Applications</b>	<b>Avantages</b>
-Prototypage fonctionnel	-Propriétés mécaniques équilibrées
-Outillage et montage	-Post-traitement facile
-Prototypage et modèles conceptuels	-Résistance chimique

### **I.5.2.2 Le PLA**

Le PLA (Polylactide) est un thermoplastique industriel non toxique, d'origine biologique et 100 % biodégradable. Il se distingue par sa facilité d'impression, sa durabilité et sa relativement solide, ce qui en fait l'un des filaments d'impression 3D les plus conviviaux disponibles sur le marché. Et à ce titre, c'est le filament le plus recommandé pour les personnes qui débutent dans l'impression 3D. De plus, cette facilité d'utilisation le rend idéal pour créer des pièces imprimées en 3D pour la conception, le prototypage, ainsi que les gabarits et les montages. Ces applications et avantages sont résumés dans le tableau I.3 suivant :

**Tableau I.4 Applications et avantages de PLA [8]**

<b>Applications</b>	<b>Avantages</b>
-Prototypage et conception -Modèles d'architecture -Éducation et visualisation -Aides à la fabrication -Art et sculpture	-Facile à imprimer -Écologique -Options multicolores

### **I.5.2.3 PETG**

Le PETG (Polyéthylène téréphtalate glycol modifié) est un filament d'impression 3D thermoplastique industriel doté d'une excellente résistance chimique. Le PETG est solide, durable, avec une bonne résistance à la chaleur et facile à imprimer. Les pièces imprimées en PETG en 3D peuvent être utilisées pour le prototypage, les tests fonctionnels, l'assemblage de pièces et bien plus encore. Ces applications et avantages sont résumés dans le tableau I.3 suivant :

**Tableau I.5 Applications et avantages de PETG [8]**

<b>Applications</b>	<b>Avantages</b>
-Prototypage et conception -Contenants et bouteilles -Aides à la fabrication -Éducation et visualisation	-Facile à imprimer -Résistance chimique -Options multicolores

### I.5.2.4 ASA

L'ASA (Acrylique styrène-acrylonitrile) est un filament d'impression 3D thermoplastique opaque avec des propriétés mécaniques similaires à celles de l'ABS mais une résistance supérieure aux UV et aux intempéries. Par conséquent, il est couramment utilisé dans les applications extérieures qui peuvent conserver leur couleur et leurs propriétés. Ces applications et avantages sont résumés dans le tableau I.4 suivant :

**Tableau I.6 Applications et avantages de ASA [8]**

<b>Applications</b>	<b>Avantages</b>
-Articles pour usage extérieur -Aides à la fabrication et accessoires -Pièces d'utilisation finale -Outils de production -Prototypes fonctionnels	-Résistance aux UV -Résistance chimique -Résistance à la chaleur

### I.5.2.5 TPU

Le TPU (Polyuréthane thermoplastique) est un type de filament d'impression 3D flexible et élastique. Son élasticité, sa résilience et sa durabilité semblables à celles du caoutchouc le rendent adapté aux utilisations nécessitant une absorption des chocs et une surface douce au toucher. Des exemples de pièces imprimées en 3D en TPU comprennent des tubes, des joints, des bagues et des amortisseurs de vibrations. Ces applications et avantages sont résumés dans le tableau I.5 suivant :

**Tableau I.7 Applications et avantages de TPU [8]**

<b>Applications</b>	<b>Avantages</b>
-Joints, tubes -Étuis de protection -Chaussures et semelles -Douilles, joints -Pièces d'utilisation finale	-Flexible -Résistance à l'usure -Facile à imprimer

### **I.5.2.6 PC**

Le PC (polycarbonate) est un filament d'impression 3D thermoplastique solide qui se caractérise par son excellente résistance aux chocs, sa rigidité élevée, sa résistance à la chaleur et ses propriétés ignifuges. En conséquence, le filament PC peut absorber les chocs, empêcher la déformation ou les fissures et maintenir sa stabilité sous des températures et des flammes élevées. Grâce à sa résistance à la chaleur jusqu'à 110°C, le PC fonctionne bien dans les environnements à haute température, comme sous le capot d'une voiture. Également connu pour sa résistance aux chocs, le PC est couramment utilisé pour la production de pièces rigides, les tests de fonctionnement, l'assemblage de pièces finies et la fabrication. Ces applications et avantages sont résumés dans le tableau I.6 suivant :

**Tableau I.8 Applications et avantages de PC [8]**

<b>Applications</b>	<b>Avantages</b>
-Valises électroniques -Outillage et accessoires -Modélisation industrielle -Pièces d'utilisation finale	-Haute résistance -Résistance à la chaleur -Translucide

### **I.5.2.7 PP**

Le PP (polypropylène) est un filament thermoplastique pour l'impression 3D et est couramment utilisé dans la vie quotidienne. Le filament PP est durable, incassable, résistant à la fatigue et semi-flexible. Les pièces imprimées en 3D en PP sont bien adaptées aux utilisations impliquant une torsion, une flexion ou un pliage. Le PP est également un matériau sans danger pour les contacts destinés aux applications alimentaires, chimiques et médicales, y compris pour une utilisation orthopédique, en raison de ses caractéristiques de légèreté et de faible friction. Ces applications et avantages sont résumés dans le tableau I.7 suivant :

**Tableau I.9 Applications et avantages de PP [8]**

<b>Applications</b>	<b>Avantages</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pièces fonctionnelles</li> <li>-Médical et orthèse</li> <li>-Production sans danger pour le contact alimentaire</li> <li>-Pièce résistante aux produits chimiques et aux solvants</li> <li>-Prototypage et modélisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Excellente durabilité et ténacité</li> <li>-Résistance chimique</li> <li>-Sécurité de la nourriture</li> <li>-Poids léger Semi-flexible et incassable</li> </ul>

**I.5.2.8 Le nylon ou PA**

Le nylon ou PA(Polyamide) est un plastique technique et industriel largement appliqué en raison de ses performances mécaniques exceptionnelles avec une bonne ténacité, résistance et résistance aux chocs. Il convient aux outils et aux pièces fonctionnelles et d'utilisation finale. De plus, son faible coefficient de friction est idéal pour les outils ergonomiques et les pièces mobiles. Ces applications et avantages sont résumés dans le tableau I.8 suivant :

**Tableau I.10 Applications et avantages de PA [8]**

<b>Applications</b>	<b>Avantages</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bouchons, gabarits, ajustements, articulations et joints</li> <li>-Outillage industriel et d'ingénierie</li> <li>-Utilisation finale et pièces fonctionnelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Excellent module de traction et résistance</li> <li>-Faible coefficient de frottement</li> </ul>

**I.5.2.9 Fibre de Carbone (CF) Renforcé**

Les filaments d'impression 3D de fibres de carbone renforcés sont des matériaux composites composés de fibres de carbone courtes coupées dans une base de matrice polymère, comme le PLA, l'ABS, le PETG, le nylon, le PP, etc. Les fibres de carbone réduisent le retrait et la

déformation pendant le refroidissement et améliorent considérablement la résistance et rigidité de la pièce finale imprimée en 3D. Ces applications et avantages sont résumés dans le tableau I.9 suivant :

**Tableau I.11 Applications et avantages de CF [8]**

<b>Applications</b>	<b>Avantages</b>
-Aérospatial -Outillage industriel et d'ingénierie -Pièces automobiles -Pièces d'utilisation finale	-Rapport résistance/poids élevé -Haute rigidité -Haute stabilité dimensionnelle -Retrait et déformation réduits -Propriété de décharge électrostatique (ESD)

### **I.5.2.10 Fibre de Verre (GF) Renforcé**

Le filament d'impression 3D de fibre de verre renforcé est idéal pour les prototypes d'ingénierie et les pièces d'utilisation finale qui nécessitent une résistance mécanique et thermique optimale. Le renfort en fibre de verre apporte une amélioration significative en termes de rigidité, de ténacité, de résistance et de résistance à la chaleur. Ces applications et avantages sont résumés dans le tableau I.10 suivant :

**Tableau I.12 Applications et avantages de GF [8]**

<b>Applications</b>	<b>Avantages</b>
-Pièces automobiles -Prototypes d'ingénierie -Pièces d'utilisation finale qui nécessitent des couleurs différentes	-Rapport résistance/poids élevé -Résistance à la chaleur et aux produits chimiques -Haute stabilité dimensionnelle -Faible retrait et déformation -Plusieurs couleurs -Rentable

### **I.6 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons exploré l'impression 3d, ainsi les différentes technologies d'impression 3d. De plus, nous avons examiné les fondements et le processus de la technologie de dépôt de matériau fondu (fused deposition modeling). Enfin, nous avons exploré et montré les matériaux les plus utilisés dans l'impression 3d avec la technologie FDM.

## ***CHAPITRE II : Collecte et exploitation des données***

### II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons examiner de manière approfondie de la collecte, l'extraction et la classification de données exploitables, nous allons commencer par explorer les différentes sources de données sous forme des tableaux, l'obtention de données précises et pertinentes est essentielle pour comprendre les performances des matériaux. Nous allons aborder l'extraction de données. Ce processus consiste à transformer les données brutes en informations utilisables.

### II.2 Présentation des données collectées

Dans cette section nous allons présenter et résumer les données collectées concernant les matériaux d'impression 3d à partir des différentes sources seront présentées ci-dessous.

#### II.2.1 Données issus du concepteur de système FAO de tranchage Simplify3d [9]

Simplify3d est un système FAO pour préparer l'impression des modèles 3d sur une imprimante 3d, il permet aux utilisateurs d'optimiser les paramètres pour chaque type de matériau. Simplify3d a développé une base de données englobent une large gamme de matériaux d'impression ces données sont résumées dans le tableau II.1 pour ABS, TPU, PLA, HIPS, PETG, Nylon et tableau II.2 pour FC, ASA, PC, PP, Filament rempli de métal, Filament rempli de bois, PVA.

**Tableau II.1 Paramètres des 6 premiers types des matériaux d'après Simplify3d [9]**

	<b>ABS</b>	<b>Flexible (TPU)</b>	<b>PLA</b>	<b>HIPS</b>	<b>PETG</b>	<b>Nylon</b>
<b>Force ultime</b>	40MPa	26 - 43MPa	65MPa	32MPa	53MPa	40 - 85MPa
<b>Raideur</b>	5/ 10	1/ 10	7.5/ 10	10/ 10	5/ 10	5/ 10
<b>Durabilité</b>	8/ 10	9/ 10	4/ 10	7/ 10	8/ 10	10/ 10
<b>Temperature maximale de service</b>	98°C	60 - 74°C	52°C	100°C	73°C	80 - 95°C
<b>Coefficient de dilatation thermique</b>	90µm/m-°C	157µm/m-°C	68µm/m-°C	80µm/m-°C	60µm/m-°C	95µm/m-°C
<b>Densité</b>	1.04g/cm <sup>3</sup>	1.19 - 1.23g/cm <sup>3</sup>	1.24g/cm <sup>3</sup>	1.03 - 1.04g/cm <sup>3</sup>	1.23g/cm <sup>3</sup>	1.06 - 1.14g/cm <sup>3</sup>
<b>Imprimable</b>	8/ 10	6/ 10	9/ 10	6/ 10	9/ 10	8/ 10
<b>Temperature de l'extrudeuse</b>	220 - 250°C	225 - 245°C	190 - 220°C	230 - 245°C	230 - 250°C	220 - 270°C
<b>Temperature du lit</b>	95 - 110°C	45 - 60°C	45 - 60°C	100 - 115°C	75 - 90°C	70 - 90°C
<b>Lit chauffant</b>	Requis	Facultatif	Facultatif	Requis	Requis	Requis
<b>Surface de construction recommandées</b>	Ruban Kapton, boue ABS	PEI, ruban pour peintre	Ruban de peintre, bâton de colle, plaque de verre, PEI	Plaque de verre, bâton de colle, ruban Kapton	Bâton de colle, ruban de peintre	Bâton de colle, PEI
<b>Autres exigences matérielles</b>	Lit chauffant, enceinte recommandée	Ventilateur de refroidissement de pièce	Ventilateur de refroidissement de pièce	Lit chauffant, enceinte recommandée	Lit chauffant, ventilateur de refroidissement partiel	Lit chauffant, boîtier recommandé, peut nécessiter un Hotend entièrement métallique
<b>Prix (par kg)</b>	\$10 - \$40	\$30 - \$70	\$10 - \$40	\$24 - \$32	\$20 - \$60	\$25 - \$65

**Tableau II.2 Paramètres des 7 deuxième types des matériaux d'après Simplify3d [9]**

	<b>Fibre de Carbone (FC)</b>	<b>ASA</b>	<b>Polycarbonate (PC)</b>	<b>Polypropylene (PP)</b>	<b>Filament rempli de métal</b>	<b>Filament rempli de bois</b>	<b>PVA</b>
<b>Force ultime</b>	45 - 48MPa	55MPa	72MPa	32MPa	20 - 30MPa	46MPa	78MPa
<b>Raideur</b>	10/ 10	5/ 10	6/ 10	4/ 10	10/ 10	8/ 10	3/ 10
<b>Durabilité</b>	3/ 10	10/ 10	10/ 10	9/ 10	4/ 10	3/ 10	7/ 10
<b>Temperature maximale de service</b>	52°C	95°C	121°C	100°C	52°C	52°C	75°C
<b>Coefficient de dilatation thermique</b>	57.5µm/m-°C	98µm/m-°C	69µm/m-°C	150µm/m-°C	33.75µm/m-°C	30.5µm/m-°C	85µm/m-°C
<b>Densité</b>	1.3g/cm <sup>3</sup>	1.07g/cm <sup>3</sup>	1.2g/cm <sup>3</sup>	0.9g/cm <sup>3</sup>	2 - 4g/cm <sup>3</sup>	1.15 - 1.25g/cm <sup>3</sup>	1.23g/cm <sup>3</sup>
<b>Imprimable</b>	8/ 10	7/ 10	6/ 10	4/ 10	7/ 10	8/ 10	5/ 10
<b>Temperature de l'extrudeuse</b>	200 - 230°C	235 - 255°C	260 - 310°C	220 - 250°C	190 - 220°C	190 - 220°C	185 - 200°C
<b>Temperature du lit</b>	45 - 60°C	90 - 110°C	80 - 120°C	85 - 100°C	45 - 60°C	45 - 60°C	45 - 60°C
<b>Lit chauffant</b>	Facultatif	Requis	Requis	Requis	Facultatif	Facultatif	Requis
<b>Surface de construction recommandées</b>	Ruban de peintre, bâton de colle, plaque de verre, PEI	Bâton de colle, PEI	PEI, adhésif commercial, bâton de colle	Ruban d'emballage, feuille de polypropylène	Ruban de peintre, bâton de colle, PEI.	Ruban de peintre, bâton de colle, PEI.	PEI, ruban pour peintre
<b>Autres exigences matérielles</b>	Ventilateur de refroidissement de pièce	Lit Chauffant	Lit chauffant, boîtier recommandé, hotend entièrement métallique	Lit chauffant, boîtier recommandé, ventilateur de refroidissement partiel	Buse résistante à l'usure ou en acier inoxydable, ventilateur de refroidissement partiel	Ventilateur de refroidissement de pièce	Lit chauffant, ventilateur de refroidissement partiel
<b>Prix (par kg)</b>	\$30 - \$80	\$38 - \$40	\$40 - \$75	\$60 - \$120	\$50 - \$120	\$25 - \$55	\$40 - \$110

**II.2.2 Données issus du fabricant de matériaux eSUN3d [10]**

Le fabricant eSUN3d est connu pour offrir une variété de matériaux de haute qualité adaptés à différents besoins d'impression 3d. Ce fabricant présente les caractéristiques spécifiques pour les matériaux qui commercialise, comme le montre le tableau II.3.

**Tableau II.3 Paramètres des matériaux d'après esun3d [10]**

Type de filament	Température d'impression (°C)	Température du lit (°C)	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Température de distorsion thermique (°C,0.45MPa)	Indice de fluidité à chaud (g/10min)	Résistance à la traction (MPa)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la flexion (MPa)	Module de flexion (MPa)	Résistance aux chocs IZOD (KJ/m <sup>2</sup> )
<b>PLA</b>	190-210	Pas de chaleur/ (60-80)	1.25	56	5(190°C/2.16kg)	65	8	97	3600	4
<b>PLA +</b>	205-225	Pas de chaleur/ (60-80)	1.25	52	4(190°C/2.16kg)	65	12	75	2102	8.5
<b>ABS</b>	220-260	90-110	1.04	78	12(220°C/10kg)	43	22	66	2348	19
<b>ABS+</b>	220-260	90-110	1.06	73	15(220°C/10Kg)	40	30	68	2443	42
<b>ABS Odorless</b>	220-260	100-110	/	/	/	40.4	34	61	2377	12.2
<b>eABS MAX</b>	220-240	90-110	1.05	85	60(220°C/10kg)	45	30	58	2400	48

Type de filament	Température d'impression (°C)	Température du lit (°C)	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Température de distorsion thermique (°C,0.45MPa)	Indice de fluidité à chaud (g/10min)	Résistance à la traction (MPa)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la flexion (MPa)	Module de flexion (MPa)	Résistance aux chocs IZOD (KJ/m <sup>2</sup> )
<b>eASA</b>	220-260	90-110	1.00	54	10-15(220°C-10kg)	50	30	35	4300	19
<b>HIPS</b>	220-260	90-110	1.05	80	3(200°C/5kg)	27	55	39	2280	11
<b>PETG</b>	230-250	Pas de chaleur/ (60-80)	1.23	64	20(250°C/2.16kg)	49	225	68	1800	7.6
<b>PVA</b>	180-210	Pas de chaleur/ (60-80)	1.25	/	/	22	360	/	/	/
<b>ePVA</b>	190-210	Pas de chaleur/ (60-80)	1.14	/	/	26	190	/	/	/
<b>eSmooth</b>	190-220	Pas de chaleur/ (60-80)	/	63.5	4-6(190°C/2.16kg)	46	273	71	2799	4
<b>Wood</b>	190-220	Pas de chaleur/ (60-80)	0.7	45	17(190°C/2.16kg)	/	/	/	/	/
<b>Color Change</b>	190-220	Pas de chaleur/ (60-80)	1.24	58	10(190°C/2.16)	65	5	97	3600	4
<b>eClean</b>	160-300	/	0.95	45	/	23	580	/	/	29

Type de filament	Température d'impression (°C)	Température du lit (°C)	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Température de distorsion thermique (°C,0.45MPa)	Indice de fluidité à chaud (g/10min)	Résistance à la traction (MPa)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la flexion (MPa)	Module de flexion (MPa)	Résistance aux chocs IZOD (KJ/m <sup>2</sup> )
<b>Bronze</b>	180-210	Pas de chaleur/ (60-80)	1.27	50	62(190°C/2.16kg)	66	16	106	4442	4
<b>eCopper</b>	200-220	Pas de chaleur/ (60-80)	2.46	52	20(190°C/2.16kg)	40	4	64	4954	4
<b>eAl-fill</b>	200-220	Pas de chaleur/ (60-80)	1.48	52	8(190°C/2.16kg)	45	5	74	4885	4
<b>eSteel</b>	200-220	Pas de chaleur/ (60-80)	2.46	52	14(190°C/2.16kg)	45	5	63	4452	5
<b>ePA(Nylon)</b>	230-260	80-90	1.12	50	5(230°C/2.16kg)	57	196	57	1495	15
<b>ePA-CF</b>	240-260	80-90	1.24	120	6(250°C/5kg)	85	26	122	5160	15.5
<b>ePA6-CF</b>	240-280	60	1.4	240	/	170	2	/	15	/
<b>ePA-GF</b>	240-260	80-90	1.35	120	7(250°C/5kg)	101	17	160	4300	8
<b>ePC</b>	235-260	80-110	1.12	80	5(230°C/2.16kg)	57	196	57	1495	15
<b>eFlex(TPU)</b>	210-230	Pas de chaleur	1.12	/	/	52	500	/	/	/

Type de filament	Température d'impression (°C)	Température du lit (°C)	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Température de distorsion thermique (°C,0.45MPa)	Indice de fluidité à chaud (g/10min)	Résistance à la traction (MPa)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la flexion (MPa)	Module de flexion (MPa)	Résistance aux chocs IZOD (KJ/m <sup>2</sup> )
eLastic (TPE)	210-230	Pas de chaleur	1.14	/	/	32	420	/	/	/
eTPU-95A	210-240	Pas de chaleur	1.43	/	8.4g/10min (190°C/2.16kg)	/	780	/	/	/
eMate-PCL	70-100	<40	1.16	45	0.5 (70°C/2.16kg)	18	>800	13	345	Ne casse pas
ePeek	380-410	90-150	1.30	152	10(380°C/5kg)	100	40	170	3500	7

### II.2.3 Données issus du constructeur Raise3D [8]

Raise3D est un constructeur d'imprimantes 3d et de matériaux d'impression leurs matériaux comprennent une variété de filaments conçus pour répondre à divers besoins d'impression 3d qui sont présentés différemment sous une forme comparative sur une échelle de 1 à 5 pour différents critères. Ces données sont montrées sur le tableau II.4.

**Tableau II.4 Paramètres des matériaux d'après Raise3D [8]**

	<b>ABS</b>	<b>ASA</b>	<b>PETG</b>	<b>PLA</b>	<b>PC</b>	<b>TPU</b>	<b>PP</b>	<b>PA</b>	<b>CF</b>	<b>GF</b>
<b>Résistance à la chaleur</b>	3/5	3/5	2/5	1/5	4/5	3/5	4/5	4/5	3/5	3/5
<b>Raideur</b>	3/5	4/5	2/5	4/5	4/5	1/5	2/5	4/5	3/5	3/5
<b>Résistance aux chocs</b>	4/5	4/5	2/5	4/5	2/5	5/5	5/5	4/5	3/5	3/5
<b>Finition de surface</b>	4/5	/	4/5	/	/	/	/	/	/	/
<b>Résistance chimique</b>	3/5	3/5	4/5	/	/	/	5/5	/	4/5	4/5
<b>Multi couleur</b>	/	/	/	5/5	/	/	/	/	/	/
<b>Facile à imprimer et à buse/</b>	4/5	4/5	4/5	/	/	4/5	2/5	4/5	4/5	4/5
<b>Efficacité ignifuge</b>	/	/	/	/	5/5	/	/	/	/	/
<b>Translucidité</b>	/	/	/	/	4/5	/	/	/	/	/
<b>Résistance à l'usure</b>	/	/	/	/	/	5/5	/	/	/	/
<b>La flexibilité</b>	/	/	/	/	/	5/5	/	/	/	/
<b>Sécurité de la nourriture</b>	/	/	/	/	/	/	5/5	/	/	/

	<b>ABS</b>	<b>ASA</b>	<b>PETG</b>	<b>PLA</b>	<b>PC</b>	<b>TPU</b>	<b>PP</b>	<b>PA</b>	<b>CF</b>	<b>GF</b>
<b>Faible frottement</b>	/	/	/	/	/	/	/	5/5	/	/
<b>Résistant et durable</b>	/	/	/	/	/	/	/	5/5	/	/
<b>Coffre-fort ESD</b>	/	/	/	/	/	/	/	/	4/5	/
<b>Rapport performance/ Cout</b>	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4/5

## **II.3 Extraction de données exploitables**

Comme première étape de notre travail nous allons transformer les données collectées en informations utilisables, on classifions chaque matériau et ses propriétés. Ces classifications sont expliquées dans ce qui suit.

### **II.3.1 Classification primaire en fonction des applications**

Nous allons classifier les matériaux d'impression 3d selon les différentes applications, utilisations et domaines spécifiques. Cette approche permet de catégoriser les données selon trois applications qui sont :

- Applications de support.
- Applications de prototypage et de présentation.
- Applications fonctionnelles.

**II.3.1.1 Pour les supports**

Dans l'impression 3d certain forme géométrique de pièce lors de l'impression 3d nécessite un matériau de support facilement à enlever.

Dans la l'impression 3d FDM le matériau utilisé comme support pour les pièces imprimé est le matériau ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate).

**II.3.1.2 Pour les présentations et prototypes [7]**

L'impression 3d présente des avantages pour la réalisation de prototype par rapport aux procédés de fabrication classiques.

Le tableau II.5 présente une classification des matériaux qui peuvent être utilisé pour les modèles de prototypage. Chaque crois dans le tableau correspond à une utilisation de matériau pour le prototypage.

**Tableau II.5 Classifications des matériaux pour présentation [7]**

	<b>ABS</b>	<b>PLA</b>	<b>TPU</b>	<b>PETG</b>	<b>Nylon</b>	<b>HIPS</b>	<b>ASA</b>	<b>CF</b>	<b>GF</b>
<b>Prototype</b>	X	X		X		X	X		X

**II.3.1.3 Pour les pièces fonctionnelles [7]**

Les pièces fonctionnelles en impression 3D FDM sont des composants imprimés qui remplissent une fonction spécifique. D'après le tableau II.6 on remarque que les matériaux utilisés pour pièce fonctionnelles sont ABS, TPU, PETG et Nylon.

**Tableau II.6 Classification des matériaux fonctionnels [7]**

	<b>ABS</b>	<b>PLA</b>	<b>TPU</b>	<b>PETG</b>	<b>Nylon</b>	<b>HIPS</b>	<b>ASA</b>	<b>CF</b>	<b>GF</b>
<b>Fonctionnel</b>	X		X	X	X				

### II.3.2 Classification secondaire par différents critères

Nous devons classer les matériaux d'impression 3d par différents critères qui sont présentées ci-dessous :

#### II.3.2.1 Critère de résistance à la traction [10]

Le tableau II.7 présente les matériaux classés selon leur résistance à la traction, exprimée en mégapascals (MPa). On remarque que les matériaux utilisés pour des pièces très résistantes à la traction sont généralement CF GF.

**Tableau II.7 Valeurs de résistance à la traction pour différents matériaux [10]**

	<b>ABS</b>	<b>PLA</b>	<b>TPU</b>	<b>PETG</b>	<b>Nylon</b>	<b>HIPS</b>	<b>ASA</b>	<b>CF</b>	<b>GF</b>
<b>Résistance à la traction (MPa)</b>	43	65	52	49	57	27	50	85	101

#### II.3.2.2 Critère de la Résistance aux chocs [10]

Le tableau II.8 présente les matériaux classés selon leur résistance aux chocs, indiquée en kilojoules par mètre carré (kJ/m<sup>2</sup>). D'après ce tableau, on remarque que le PLA est le moins résistant aux chocs, tandis que l'ABS est le plus résistant. De plus, la résistance aux chocs n'est pas applicable au TPU, car c'est un matériau flexible.

**Tableau II.8 Valeurs de résistance aux chocs pour différents matériaux [10]**

	<b>ABS</b>	<b>PLA</b>	<b>TPU</b>	<b>PETG</b>	<b>Nylon</b>	<b>HIPS</b>	<b>ASA</b>	<b>CF</b>	<b>GF</b>
<b>Résistance aux chocs (KJ/m<sup>2</sup>)</b>	19	4	/	7,6	15	11	19	15,5	8

### II.2.2.3 Critère de la Raideur [9]

La raideur est la capacité d'un matériau ou d'une structure à résister à la déformation lorsqu'une force est appliquée.

Le tableau II.9 ci-dessous présente une comparaison de la raideur des matériaux sur une échelle de 1 à 10. On constate que le GF n'est pas applicable.

**Tableau II.9 Evaluation de la raideur des matériaux [9]**

	<b>ABS</b>	<b>PLA</b>	<b>TPU</b>	<b>PETG</b>	<b>Nylon</b>	<b>HIPS</b>	<b>ASA</b>	<b>CF</b>	<b>GF</b>
<b>Raideur</b>	5/10	7,5/10	1/10	5/10	5/10	10/10	5/10	10/10	/

### II.2.2.4 Critère de Temperature maximal de service [9]

Le tableau II.10 présente les matériaux classés en fonction de leur température maximale de service, exprimée en degrés Celsius (°C). Dans ce tableau, on constate que le GF n'est pas applicable.

**Tableau II.10 Valeurs de température maximale de service pour différents matériaux [9]**

	<b>ABS</b>	<b>PLA</b>	<b>TPU</b>	<b>PETG</b>	<b>Nylon</b>	<b>HIPS</b>	<b>ASA</b>	<b>CF</b>	<b>GF</b>
<b>Temperature maximal de service (°C)</b>	98	52	60-74	73	80-95	100	95	52	/

### II.2.2.5 Critère de Température de distorsion thermique [10]

Le tableau II.11 présente une sélection de matériaux classés en fonction de leur résistance à la distorsion thermique, indiquée en (°C,0.45MPa). On remarque que le TPU n'est pas applicable.

**Tableau II.11 Valeurs Température de distorsion thermique des différents matériaux [10]**

	<b>ABS</b>	<b>PLA</b>	<b>TPU</b>	<b>PETG</b>	<b>Nylon</b>	<b>HIPS</b>	<b>ASA</b>	<b>CF</b>	<b>GF</b>
<b>Température de distorsion thermique (°C,0.45MPa)</b>	78	56	/	64	50	80	54	120	12

**II.2.2.6 Critère de Imprimabilité [9]**

L'imprimabilité désigne la capacité d'un matériau à être imprimé efficacement en 3D. Elle prend en compte plusieurs facteurs, tels que l'adhérence au plateau, la facilité de mise en œuvre, la vitesse d'impression, la qualité des détails, et la tendance à se déformer ou à se fissurer pendant le processus d'impression.

Le tableau II.12 présente une comparaison de l'imprimabilité de chaque matériau sur une échelle de 1 à 10. On remarque que le GF n'est pas applicable.

**Tableau II.12 Evaluation d'imprimabilité des matériaux [9]**

	<b>ABS</b>	<b>PLA</b>	<b>TPU</b>	<b>PETG</b>	<b>Nylon</b>	<b>HIPS</b>	<b>ASA</b>	<b>CF</b>	<b>GF</b>
<b>Imprimabilité</b>	8/10	9/10	6/10	9/10	8/10	6/10	7/10	8/10	/

**II.2.2.7 Critère de Prix**

Ces prix sont à titre comparatif et indicatif uniquement.

D'après les recherches, nous avons le tableau II.13, fourni par 4D Filtration, qui présente le prix en dollars (\$) par kilogramme (kg) de certains matériaux.

**Tableau II.13 Prix des matériaux d'après 4dfiltration [11]**

<b>Matériaux</b>	<b>ABS</b>	<b>PLA</b>	<b>TPU</b>	<b>PETG</b>	<b>Nylon</b>	<b>HIPS</b>	<b>ASA</b>
<b>Prix (USD/Kg)</b>	25	25	35	25	65	35	35

Le tableau II.14 présente les matériaux classés selon leurs prix d'après le tableau II.1, tableau II.1 et le tableau II.13. Dans ce tableau, nous avons résumé les prix selon trois cas : un prix minimum, un prix moyen et un prix élevé.

**Tableau II.14 Classification des matériaux selon leurs prix**

	<b>ABS</b>	<b>PLA</b>	<b>TPU</b>	<b>PETG</b>	<b>Nylon</b>	<b>HIPS</b>	<b>ASA</b>	<b>CF</b>	<b>GF</b>
<b>Prix mini</b>	X	X							
<b>Prix moyen</b>			X	X	X	X	X		
<b>Prix élevé</b>								X	X

#### **II.2.2.8 Critère de l'usure de la buse [13]**

Le tableau II.15 montre les filaments qui résistent à l'usure de la buse, classés en deux catégories: abrasifs et non abrasifs. On constate que les seuls matériaux abrasifs identifiés sont le CF et le GF.

**Tableau II.15 Classification des matériaux abrasifs [13]**

	<b>ABS</b>	<b>PLA</b>	<b>TPU</b>	<b>PETG</b>	<b>Nylon</b>	<b>HIPS</b>	<b>ASA</b>	<b>CF</b>	<b>GF</b>
<b>Usure de la buse standard</b>	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui

### **II.3 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons détaillé le processus de collecte de données et leur exploitation. Tout d'abord, nous avons présenté les données collectées de la littérature sous forme de tableaux originaux. Ensuite, nous avons procédé à une extraction des données exploitables, en les classifiant de manière à les rendre utilisables. Une classification primaire a été effectuée, basée sur les applications, suivie d'une classification secondaire selon les différents critères techniques.

***CHAPITRE III : Programmation de la base de données des matériaux***

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous abordons la création d'une base de données destinée à organiser les informations sur les matériaux d'impression 3D. Cette base de données, développée à l'aide de Microsoft Access, a pour objectif de stocker efficacement les propriétés techniques et les applications des différents matériaux. Nous allons expliquer les étapes de conception d'alimentation en données, ainsi que les requêtes utilisées pour extraire les informations pertinentes sur les matériaux en fonction des besoins spécifiques.

### III.2 Présentation du système Access [12]

Microsoft Access est un logiciel de gestion de bases de données relationnelles développé par Microsoft, intégré dans la suite Microsoft Office. Il dispose d'une interface intuitive qui facilite la création et la gestion de bases de données. Access aide à structurer les données, concevoir des tables, exécuter des requêtes et générer des formulaires et des rapports pour manipuler les informations de manière efficace.

#### III.2.1 Fonctionnalités principales de Access

Microsoft Access permet de créer des tables pour organiser les données et établir des relations entre elles afin d'assurer l'intégrité et éviter les doublons. Grâce aux requêtes, les utilisateurs peuvent extraire et manipuler les données selon des critères spécifiques. Les formulaires offrent une interface conviviale pour la saisie et la consultation des informations, tandis que les rapports permettent de présenter les données de manière professionnelle.

#### III.2.2 Avantages d'utilisation de Microsoft Access

Microsoft Access permet de créer des tables pour organiser les données et établir des relations entre elles afin d'assurer l'intégrité et d'éviter les doublons. Grâce aux requêtes, nous pouvons extraire et manipuler les données selon des critères spécifiques. Les formulaires offrent une interface conviviale pour la saisie et la consultation des informations, tandis que les rapports permettent de présenter les données de manière professionnelle.

### III.3 Modélisation de la base de données

Dans cette partie, nous définissons les tables principales de la base de données (Matériaux, Applications, Critères) et les tables associatives (Matériaux\_Applications, Matériaux\_Critères) et leurs relations. Cela permet de structurer efficacement les données et d'assurer leur intégrité.

#### III.3.1 Définition des tables principales dans Access

Nous allons maintenant définir les trois tables et le processus de conception et d'organisation des données dans une base de données relationnelle.

##### III.3.1.1 Table du Matériaux

**Description** : Ce tableau contient le nom des matériaux.

**Champ** : Représente les colonnes de tableau.

**ID\_Matériau** (clé primaire) : Identifiant unique du matériau.

**Nom\_Matériau** : Nom du matériau (ABS, PLA, TPU, PETG, Nylon, HIPS, ASA, CF, GF).

##### III.3.1.2 Table d'Applications

**Description** : Ce tableau contient les applications.

**Champ** : Stocker les trois applications.

**ID\_Application** (clé primaire) : Identifiant unique de l'application.

**Nom\_Application** : Nom de l'application (Support, Prototype, Fonctionnelles).

##### III.3.1.3 Table du Critères

**Description** : Ce tableau abrite les critères et ses valeurs.

**Champ** : conserver les critères et valeur.

**ID\_Critère** (clé primaire) : Identifiant unique de critère.

**Nom\_Critère** : Nom de critères (Résistance à la traction, Résistance aux chocs, Raideur ...).

**Valeur Numérique** : Numérique.

**Valeur Textuelle** : Texte court

### III.3.2 Tables associatives pour les relations plusieurs-à-plusieurs

Nous allons maintenant définir les deux tables associatives et le processus de conception et d'organisation des données.

#### III.3.2.1 Table de Matériaux\_Applications

**Description** : Cette table gère les matériaux et leurs applications.

**Champ** : stocker les colonnes de la table.

**ID\_Matériau** (Clé étrangère) : Référence au matériau (lié à ID\_Matériau dans le tableau du Matériau).

**ID\_Application** (Clé étrangère) : Référence à l'application (lié à ID\_Application dans le tableau d'applications).

#### III.3.2.2 Table de Matériaux\_Critères

**Description** : Le tableau contient les matériaux, leurs critères et les valeurs associées.

**Champ** : Stocker les colonnes de tableau.

**ID\_Matériau** (Clé étrangère) : Références concernant le matériau (lié à ID\_Matériau dans la table du Matériau).

**ID\_Critère** (Clé étrangère) : Référence à l'application (lié à ID\_Critère dans la table du Critère).

**Valeur Numérique** : Numérique.

**Valeur Textuelle** : texte court.

### III.3.3 Relations et intégrité des données

Clés primaires : chaque table principale (Matériaux, Applications, Critères) possède une clé primaire unique qui identifie chaque enregistrement.

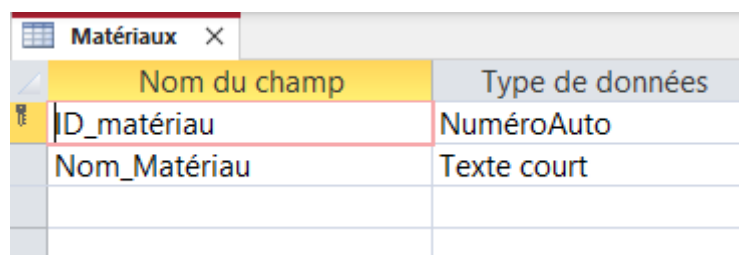
Clés étrangères : les tables associatives (Matériaux\_Applications, Matériaux\_Critères) contiennent des clés étrangères qui établissent des relations entre les tables principales.

## **III.4 Création et programmation des tables dans Access**

Nous allons présenter la conception et la programmation des tables que nous avons développées sur Access.

### **III.4.1 Création des tables**

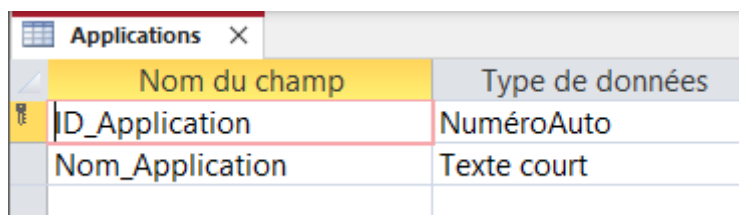
Nous avons montré les cinq tables que nous avons créées.



The screenshot shows the design view of the 'Matériaux' table in Microsoft Access. The table has two columns: 'Nom du champ' and 'Type de données'. The first row contains 'ID\_matériau' and 'NuméroAuto'. The second row contains 'Nom\_Matériau' and 'Texte court'.

Nom du champ	Type de données
ID_matériau	NuméroAuto
Nom_Matériau	Texte court

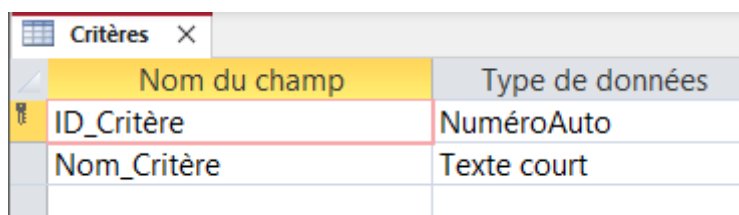
**Figure III.1 Table du Matériaux**



The screenshot shows the design view of the 'Applications' table in Microsoft Access. The table has two columns: 'Nom du champ' and 'Type de données'. The first row contains 'ID\_Application' and 'NuméroAuto'. The second row contains 'Nom\_Application' and 'Texte court'.

Nom du champ	Type de données
ID_Application	NuméroAuto
Nom_Application	Texte court

**Figure III.2 Table d'Applications**



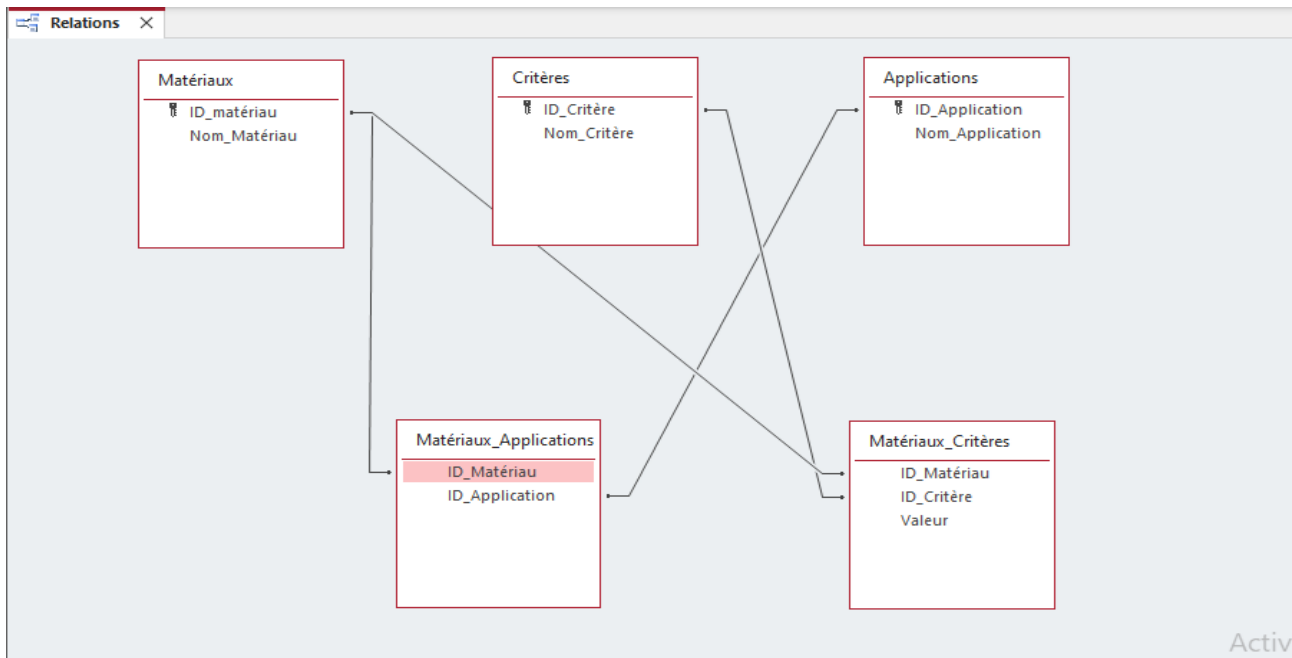
The screenshot shows the design view of the 'Critères' table in Microsoft Access. The table has two columns: 'Nom du champ' and 'Type de données'. The first row contains 'ID\_Critère' and 'NuméroAuto'. The second row contains 'Nom\_Critère' and 'Texte court'.

Nom du champ	Type de données
ID_Critère	NuméroAuto
Nom_Critère	Texte court

**Figure III.3 Table du Critères**



Nous allons mettre en place des relations entre les tables. Par exemple, en revenant sur la table des critères, une relation apparaît entre les matériaux, les critères et la table Matériaux\_Critères, offrant une nouvelle vue qui illustre cette relation (voir la Figure III.7).



**Figure III.7** Illustration des relations entre les tableaux Matériaux, Critères et Matériaux\_Critères

### III.4.3 Programmation dans Access

Nous allons montrer la programmation que nous allons réaliser sur Access.

#### III.4.3.1 Requêtes dans Access

Nous allons créer une requête pour afficher les matériaux avec un prix mini. Après la sélection des tables Matériaux, Critères et Matériaux\_Critères et l'exécution de la requête, dans la section en bas, nous sélectionnons le champ Nom\_Critère. Ensuite dans la ligne du critère, nous écrivons "Prix". Enfin, dans le champ Valeur Textuelle, à la ligne du critère, nous saisissons "prix mini" et exécutons la requête (voir la figure III.8 et figure III.9).

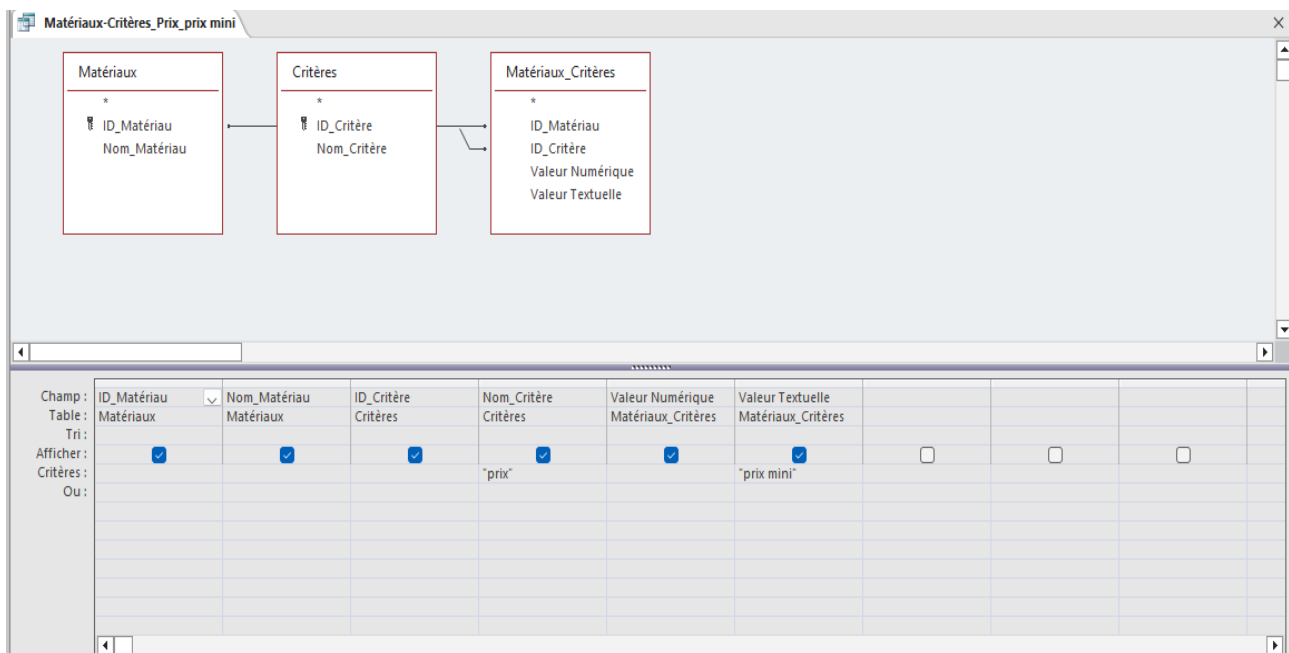


Figure III.8 Création requête des matériaux selon le Critère Prix et Valeur Textuelle prix mini

La figure III.9 ci-dessous présente le résultat obtenu.

The screenshot shows a table with columns: "ID\_Matériau", "Nom\_Matériau", "ID\_Critère", "Nom\_Critère", "Valeur Numérique", and "Valeur Textuelle". The table contains two rows of data.

ID_Matériau	Nom_Matériau	ID_Critère	Nom_Critère	Valeur Numérique	Valeur Textuelle
1	ABS	7	Prix		prix mini
2	PLA	7	Prix		prix mini

Figure III.9 Résultat de requête des matériaux de critère Prix et Valeur Textuelle prix mini

Nous avons créé autre requête des matériaux selon l'application Support, (voir figure III.10).

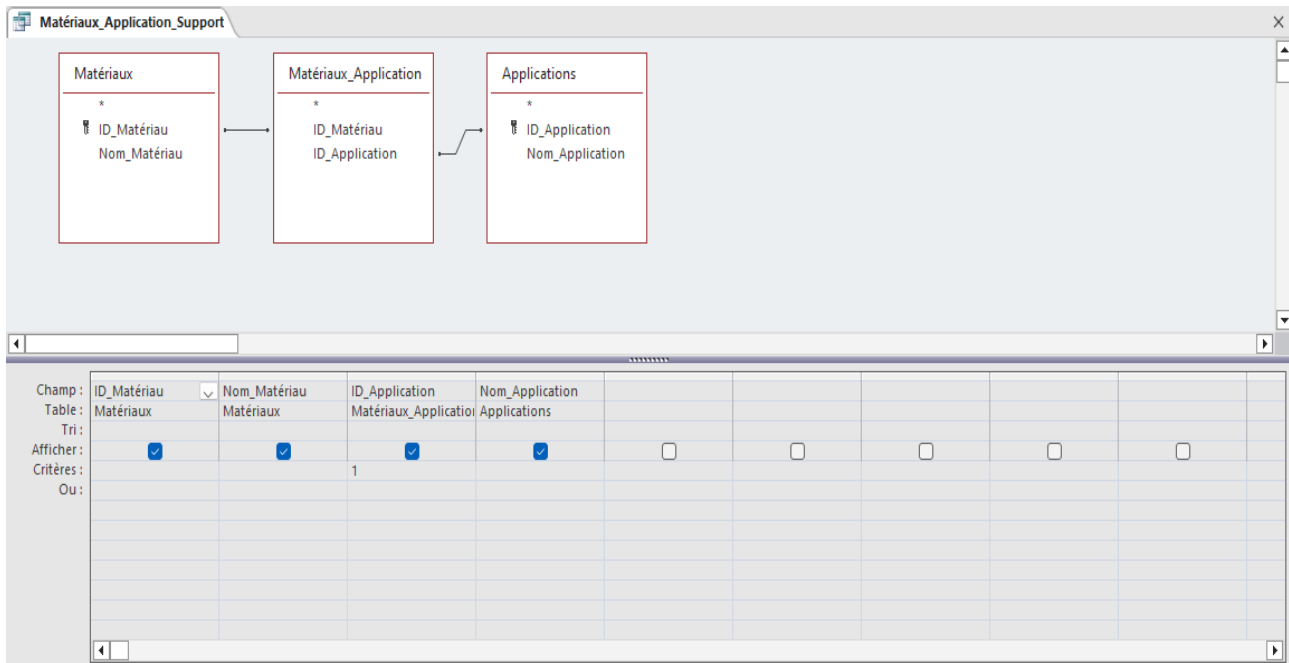


Figure III.10 Création d'une requête des matériaux selon l'Application Support

La figure III.11 ci-dessous présente le résultat obtenu.

ID_Matériau	Nom_Matériau	ID_Application	Nom_Application
7	ASA	1	Support
*	(Nouv.)		

Figure III.11 Résultat de requête des matériaux d'Application Support

Nous avons créé une requête des matériaux ayant le critères usure de la buse, (voir figure III.12).

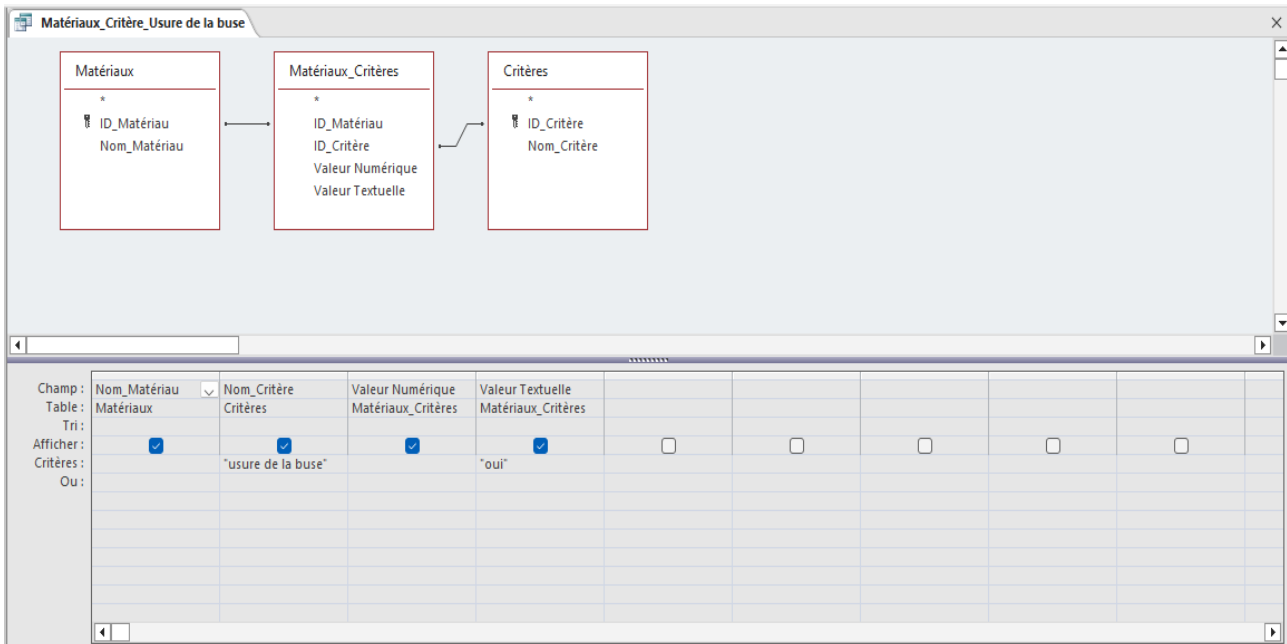


Figure III.12 Création d'une requête des matériaux ayant l'usure de la buse

La figure III.13 ci-dessous présente le résultat obtenu.

Nom_Matér	Nom_Critère	Valeur Numérique	Valeur Textuelle
CF	Usure de la buse		oui
GF	Usure de la buse		oui
*			

Figure III.13 Résultat de la requête des matériaux présentant l'usure de la buse

### III.4.3.2 Formulaire et interfaces utilisateur

Un formulaire est une interface qui permet à l'utilisateur de saisir, modifier ou consulter des données de manière simple et intuitive. Il améliore l'interaction avec la base de données. Nous présenterons un formulaire pour le tableau Critères et un autre pour le tableau Matériaux\_Critères (voir figure III.14 et figure III.15).

ID_Matériau	Valeur Numérique	Valeur Textuelle
1	43	
2	65	
3	52	
4	49	
5	57	
6	27	
7	50	
8	85	

Figure III.14 Formulaire associé à la table des Critères de Résistance à la traction

Figure III.15 Formulaire associé à la table de Matériaux\_Critères

### III.5 Tests de validation de la base de données

Pour tester la validation d'utilisation de la base de données que nous avons réalisé, nous effectuons des essais.

### III.5.1 Test de validation de la liaison entre les tables

Nous allons tester la liaison entre les tables via les clés étrangère en prenant l'exemple du le matériau ABS et de ses applications (voir figure III.16 et figure III.17).

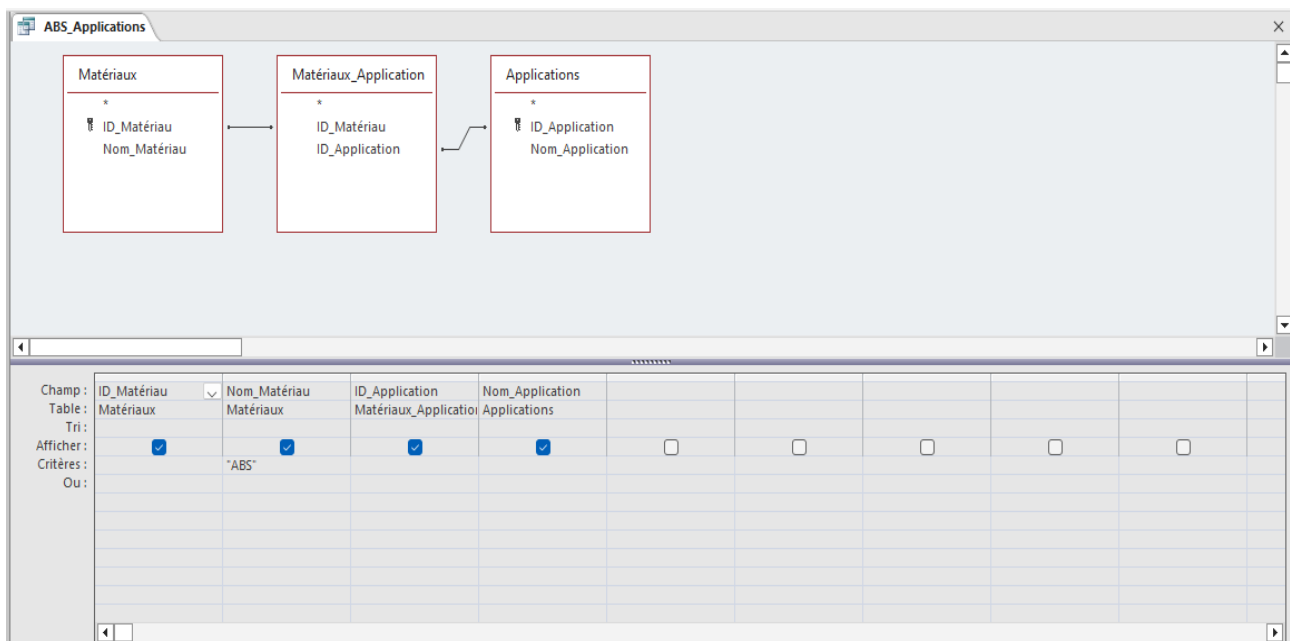


Figure III.16 Création de la requête pour le matériau ABS et ses applications

La figure III.17 ci-dessous présente le résultat obtenu.

ID_Matériau	Nom_Matériau	ID_Application	Nom_Application
1	ABS	2	Prototype
1	ABS	3	Fonctionnelles
*	(Nouv.)		

Figure III.17 Résultat de la requête concernant le matériau ABS et ses applications

### III.5.2 Test de la suppression d'un enregistrement

Après avoir supprimé le matériau PLA dans la table Matériaux, nous allons dans la table associative Matériaux\_Applications et constatons que l'enregistrement correspondant à la suppression de PLA a également été supprimé automatiquement. Cela signifie que l'intégrité référentielle fonctionne correctement (voir figure III.18, figure III.19 et figure III.20).

ID_matériau	Nom_Matériau
1	ABS
2	PLA
3	TPU
4	PETG
5	Nylon
6	HIPS
7	ASA
8	CF
9	GF
*	(Nouv.)

Figure III.18 Table des Matériaux

ID_matériau	Nom_Matériau
1	ABS
3	TPU
4	PETG
5	Nylon
6	HIPS
7	ASA
8	CF
9	GF
*	(Nouv.)

Figure III.19 Table des Matériaux avec suppression du matériau PLA

ID_Matériau	ID_Application
1	2
1	3
4	2
4	3
5	3
6	2
7	1
7	2
7	3
9	2
*	0

**Figure III.20 Vérification de la suppression automatique du matériau PLA (ID 2) dans la table Matériaux\_Applications**

## III.6 Tests de choix

Pour effectuer le choix, nous allons programmer un ensemble de requêtes.

### III.6.1 Exemple de requête avec un critère

Nous avons établi une requête pour le critère de résistance aux chocs, avec une valeur numérique inférieur ou égale à 12, comme le montre la figure III.21.

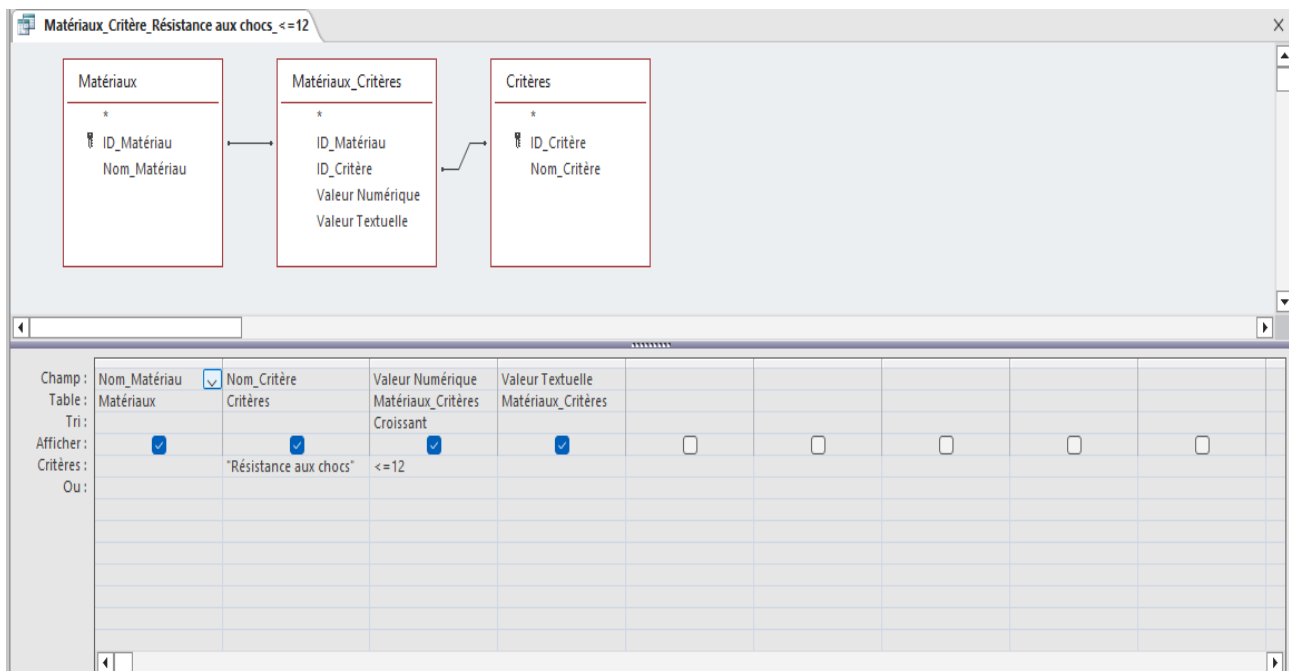


Figure III.21 Création de requête des matériaux selon le critère Résistance aux chocs d'une valeur <=12

La figure III.22 suivante montre le résultat obtenu pour la requête.

Nom_Matériau	Nom_Critère	Valeur Numérique	Valeur Textuelle
PLA	Résistance aux chocs	4	
GF	Résistance aux chocs	8	
PETG	Résistance aux chocs	8	
HIPS	Résistance aux chocs	11	
*			

Figure III.22 Résultat de la requête des matériaux selon le critère résistance aux chocs d'une valeur <=12

### III.6.2 Exemple de requête avec deux critères

Nous avons établi une requête avec deux critères, critère de résistance aux chocs, avec une valeur inférieure ou égale à 12 et critère de température maximale de service avec une valeur de  $\leq 80$ , comme le montre la figure III.23.

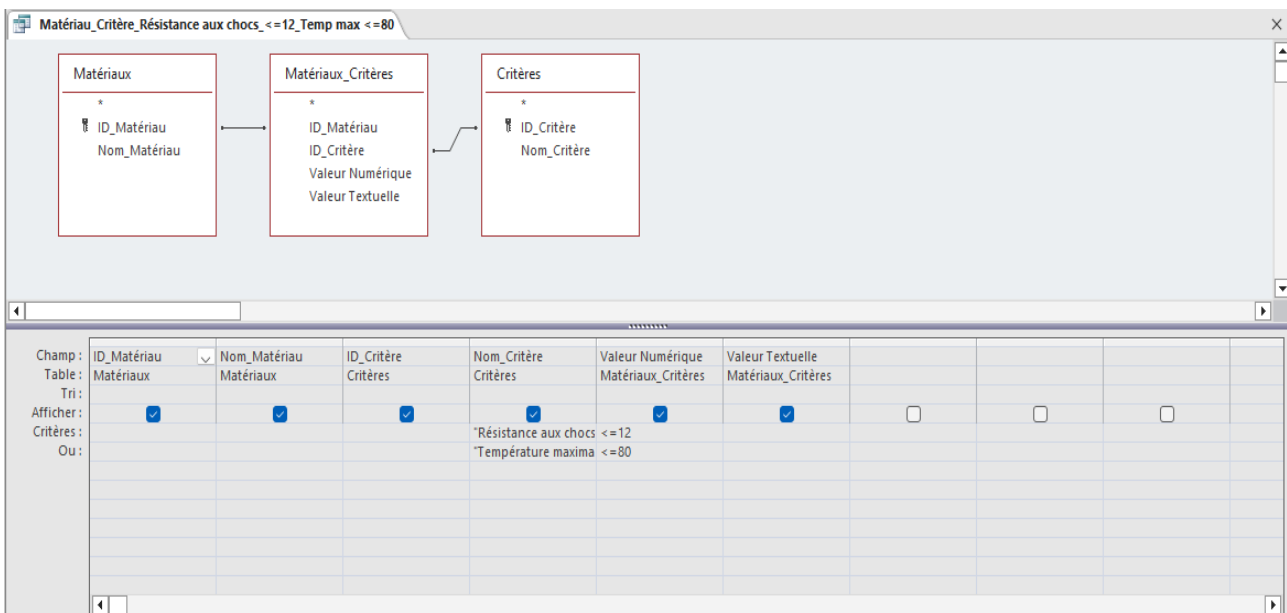


Figure III.23 Création de requête des matériaux selon deux critères résistance aux chocs  $\leq 12$  et la température maximale de service  $\leq 80$

La figure III.24 suivante montre le résultat obtenu pour la requête.

ID_Matériau	Nom_Matériau	ID_Critère	Nom_Critère	Valeur Numérique	Valeur Textuelle
2	PLA	2	Résistance aux chocs	4	
4	PETG	2	Résistance aux chocs	8	
6	HIPS	2	Résistance aux chocs	11	
9	GF	2	Résistance aux chocs	8	
2	PLA	4	Température maximal de service	52	
3	TPU	4	Température maximal de service	67	
4	PETG	4	Température maximal de service	73	
8	CF	4	Température maximal de service	52	
*	(Nouv.)	(Nouv.)			

Figure III.24 Résultat de la requête des matériaux selon deux critères

### III.6.3 Exemple de requête avec trois critères

Nous avons créé une requête avec trois critères, critère de résistance aux chocs, avec une valeur inférieure ou égale à 12, critère de température maximale de service avec une valeur de  $\leq 80$  et le critère imprimabilité entre 7/10 et 9/10, comme le montre la figure III.25.

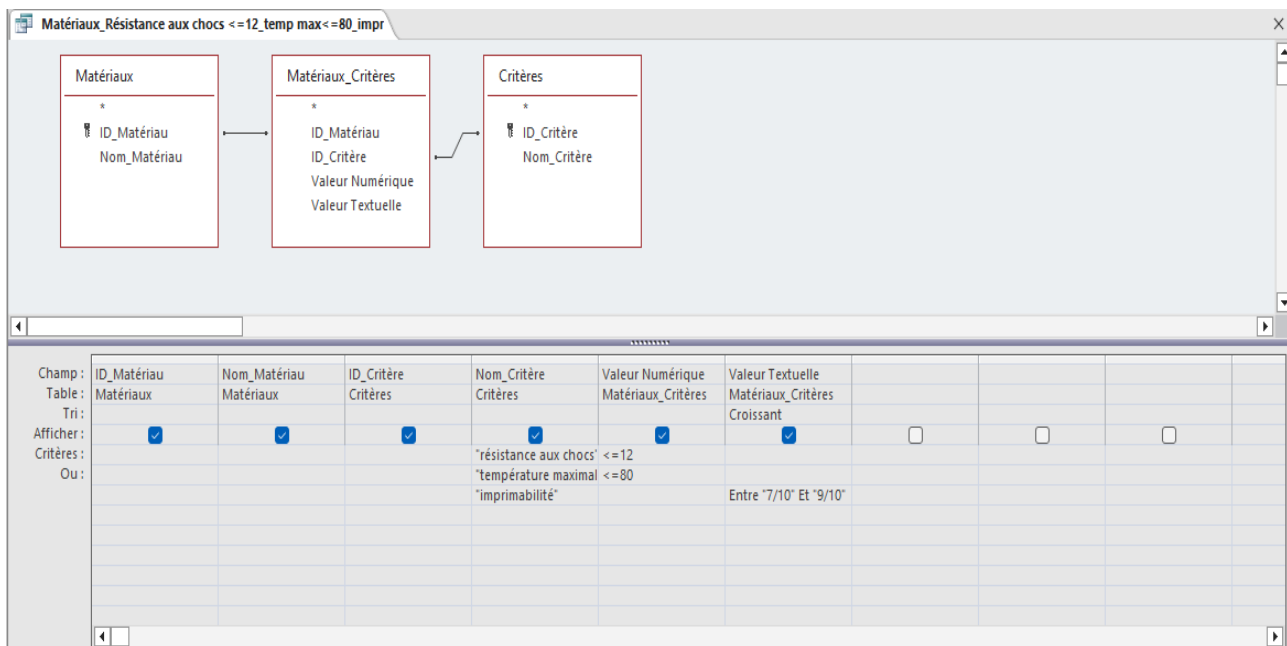


Figure III.25 Création de requête des matériaux selon trois critères

La figure III.26 suivante montre le résultat obtenu pour la requête.

ID_Matériau	Nom_Matériau	ID_Critère	Nom_Critère	Valeur Numérique	Valeur Textuelle
8	CF	4	Température maximal de service	52	
4	PETG	4	Température maximal de service	73	
3	TPU	4	Température maximal de service	67	
2	PLA	4	Température maximal de service	52	
9	GF	2	Résistance aux chocs	8	
6	HIPS	2	Résistance aux chocs	11	
4	PETG	2	Résistance aux chocs	8	
2	PLA	2	Résistance aux chocs	4	
7	ASA	6	Imprimabilité		7/10
8	CF	6	Imprimabilité		8/10
5	Nylon	6	Imprimabilité		8/10
1	ABS	6	Imprimabilité		8/10
4	PETG	6	Imprimabilité		9/10
2	PLA	6	Imprimabilité		9/10
*	(Nouv.)	(Nouv.)			

**Figure III.26** Résultat de la requête des matériaux selon les trois critères

### III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons d’abord présenté le système Access et la modélisation de la base de données. Ensuite, nous avons créé les tables nécessaires pour gérer les matériaux et leurs critères et applications. Nous avons effectué des tests de validation pour assurer le bon fonctionnement de la base de données. Enfin, nous avons réalisé des tests de choix avec différentes requêtes pour extraire des informations selon les critères établis. Ces étapes ont confirmé l’efficacité de notre système.

## *Conclusion générale*

Ce mémoire a permis la réalisation d'une étude comparative et développement d'un outil d'aide au choix des matériaux d'impression 3D, spécifiquement appliqué à la technologie FDM (Fused Deposition Modeling).

En premier, on a présenté de manière détaillée les principes de l'impression 3D, en mettant l'accent sur la technologie FDM ainsi que sur les caractéristiques des matériaux utilisés, leurs avantages et leurs applications.

Puis, on a procédé à la collecte et à l'extraction de données exploitables, classées selon divers critères, notamment la résistance à la traction, l'imprimabilité et le coût, afin d'orienter les choix en fonction des besoins spécifiques des applications envisagées.

Ensuite, on a utilisé le système de base de données Access pour programmer l'ensemble des données collectées dans plusieurs tables.

Enfin, l'outil de choix a été programmé dans la base de données Access sous la forme d'un ensemble de requêtes. Il se compose pour le moment de trois requêtes qui ont été programmées et d'autres requêtes plus avancées peuvent être programmées pour rendre l'outil de choix plus efficace. Nous avons testé la sélection avec des requêtes basées sur un, deux et trois critères, et des résultats ont été obtenus.

Cette étude met en évidence, d'une part, la collecte et l'extraction des données ainsi que leur classification. Elle aborde la création d'une base de données exploitée sous le système Access. Cette approche garantit également une meilleure prise de décision lors du choix des matériaux selon les critères définis.

Dans ce travail, on n'a pas pu programmer un outil indépendant de la base de données par manque de temps.

En perspective, on propose comme prochain projet fin d'étude l'exploitation des données déjà programmées dans la base Access à l'aide d'un outil externe développé en Visuel basic ou Python.

## Références

- [1] [The complete history of 3D printing - UltiMaker](#)
- [2] [Les technologies d'impression 3D - guide sur les différentes techniques \(aniwaa.com\)](#)
- [3] [Impression 3D : les différents procédés - Les Numériques \(lesnumeriques.com\)](#)
- [4] [ResearchGate | Find and share research](#)
- [5] [Technologies d'impression 3D et de fabrication additive - 3Dnatives](#)
- [6] [Qu'est-ce que la modélisation par dépôt en fusion \(FDM\) ? Un guide complet pour comprendre la technologie \(tomorrow.bio\)](#)
- [7] [L'impression 3D par dépôt de matière fondue ou FDM, on vous explique tout ! - 3Dnatives](#)
- [8] [High performance 3D Printing Filaments | Raise3D](#)
- [9] [Ultimate 3D Printing Material Properties Table \(simplify3d.com\)](#)
- [10] [3D Printing Materials Top 3D Printer Material Brand-eSUN \(esun3d.com\)](#)
- [11] [FDM 3D Filament: Brands, Prices & Properties \(4dfiltration.com\)](#)
- [12] [Qu'est-ce que Microsoft Access ? Avantages et conseils de sécurité | Lenovo CA](#)
- [13] <https://www.3dxtech.com/>