

1 Introduction

L'impression 3D révolutionne la pratique orthodontique en permettant la fabrication rapide et économique de modèles d'étude, de guides chirurgicaux, d'aligneurs, de contentions et même de prothèses temporaires.

Ce rapport examine les technologies disponibles pour une intégration directe au cabinet, avec une analyse approfondie des workflows, des matériaux, des temps de production et de l'impact environnemental.

2 Objectifs cliniques de l'impression 3D en ODF

En orthodontie, l'impression 3D permet notamment :

- La production de modèles d'étude et d'archives numériques (fin des moulages plâtre).
- La fabrication de modèles pour thermoformage (aligneurs, gouttières de contention, attelles).
- La réalisation de bases de collage indirect (IBT) et de guides simples pour mini-vis.
- L'impression de crânes et de segments maxillo-mandibulaires à partir d'un CBCT pour la planification, la pédagogie.

3 Workflow Global de l'Impression 3D en Orthodontie

3.1 Acquisition Numérique

3.1.1 Scanner Intra-Oral

Le scanner intra-oral capture directement la géométrie des arcades dentaires et des tissus mous. Les fichiers générés sont au format STL (Standard Tessellation Language) ou OBJ, prêts pour l'impression. Résolution typique : 10-20 microns selon les fabricants mais estimés à 50µm pour l'enregistrement des détails. Mais seulement 300µm pour la résolution dimensionnelle d'une arcade complète.

Cela a pour avantages un confort du patient, une précision excellente, et un workflow 100% numérique.

3.1.2 CBCT (Cone Beam Computed Tomography)

Le CBCT fournit des données volumétriques DICOM convertibles en modèles 3D imprimables (STL). Essentiel pour la planification chirurgicale orthognatique, l'analyse céphalométrique 3D et la fabrication de guides chirurgicaux. Résolution : 75-400 microns selon les appareils et l'examen réalisé.

3.1.3 À partir d'un scanner intra-oral (STL)

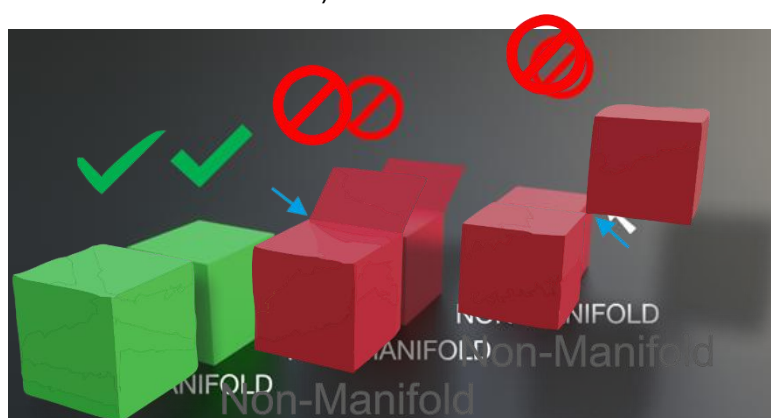
3.1.3.1 Acquisition :

- Scan intra-oral des arcades (format STL, PLY ou OBJ).

- Contrôle visuel de la complétude et de la qualité : absence de trous majeurs, de chevauchement ou de zones floues. (souvent compensées par les logiciels d'acquisition de manière souvent cachée...)

3.1.3.2 Pré-traitement / CAO :

- Import dans le logiciel d'orthodontie (Meshmixer, Carestream, OrthoAnalyzer, OnyxCeph, etc.).
- Nettoyage du maillage (suppression excès gingivaux, comblement de petits trous, lissage léger).
- Montage en occlusion si double arcade. (souvent fait pas le Scan IOS)
- Création de la base numérique (socle ABA/ABO, Fer à cheval, base spécifique thermoformage).
- Réaliser l'étanchéité des volumes avec des triangles (Mesh) reliés (Watertight, and manifold)



Manifold

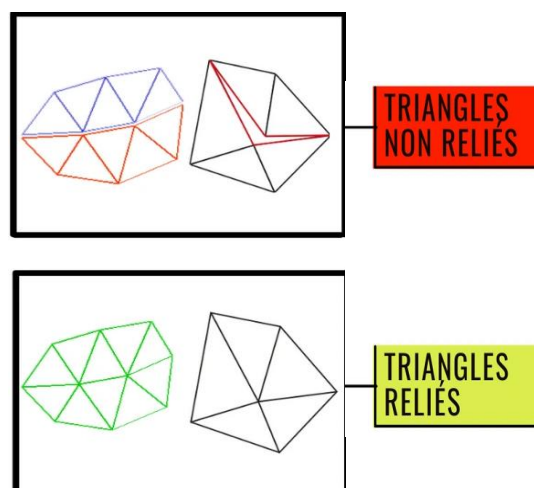


Figure 1 : étanchéité du volume

- Pour l'impression de gouttière en direct (DPA : Direct Print Aligner) : préparation sur les logiciels OnyxCeph, 3Shape ou Meshmixer

3.1.3.3 Préparation à l'impression :

- Importation du fichier STL/DICOM dans un logiciel de Slicing (CURA...)
- Orientation du modèle dans le slicer. (à plat ou vertical)
- Ajout éventuel de supports (surtout pour les pièces complexes sauf technologie SLA avec auto-supports), pas besoin pour des moulages à plat.
- Insertion des identifiants patient / date en relief sur le socle pour assurer la traçabilité. (souvent déjà fait par le logiciel d'acquisition du Scan IOS)
- Paramétrage : épaisseur de couche de surface (parois) plus ou moins épaisse (résine), vitesse d'impression, température

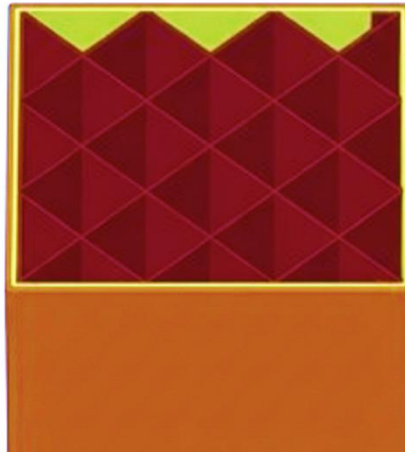


Figure 2 : Visualisation des épaisseur de parois et de la structure alvéolaire interne du volume 3D

3.1.3.4 Slicing :

- Choix de la technologie (FDM vs résine)
- Puis choix de la résine ou du filament.
- Paramètres principaux : épaisseur de couche d'impression (50–150 μm , 100 μm étant un bon compromis ligne très peu visible car à la limite de la détection par un œil humain), vitesse, remplissage (FDM).
- Génération du G-code (dans la technique FDM = renfort alvéolaire dans les vides du modèle) se fait de manière automatique sur les logiciels d'impression (CURA : <https://ultimaker.com/fr/software/ultimaker-cura/#downloads> ...)

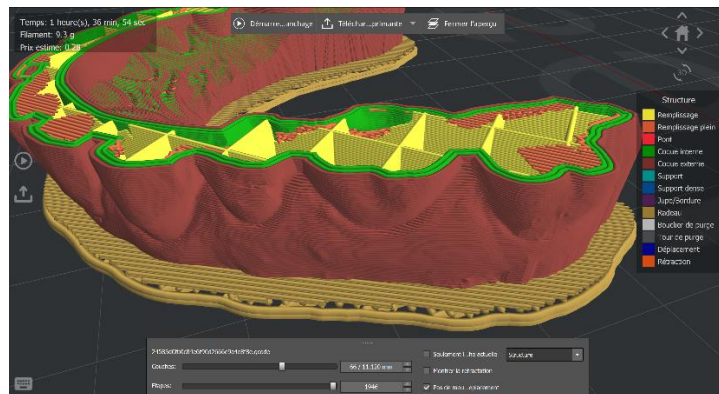


Figure 3:a et b Logo logiciel CURA(a) et visualisation des layer du le fichier G code (b)

3.1.3.5 Impression :

- Envoi vers l'imprimante via USB, carte SD ou encore mieux réseau intranet ou extranet (à distance)
- Contrôle des premières couches (adhésion plateau, absence de décollement).
- Laisser l'impression se dérouler sous surveillance indirecte.

3.1.3.6 Post-traitement :

3.1.3.6.1 FDM Pour l'impression filaire : FDM (Fused Deposition Modeling) :

- Retrait simple et rapide de la pièce (décollement du plateau) surtout si moulage à plat sans supports.
- Élimination manuelle des supports
- Ebavurage léger.
- Ponçage léger si nécessaire (5-10 min) (rarement nécessaire surtout si impression en 100µm.)

3.1.3.6.2 Résine (SLA/DLP/LCD) :

- Long et délicat
- Lavage dans l'alcool isopropylique (IPA) : 5-10 min
- Séchage,
- Retrait manuel des supports (ou à l'eau si supports hydrosolubles)
- Polymérisation UV finale : 5-15 min selon résine
- Finition éventuelle (ponçage, polissage)

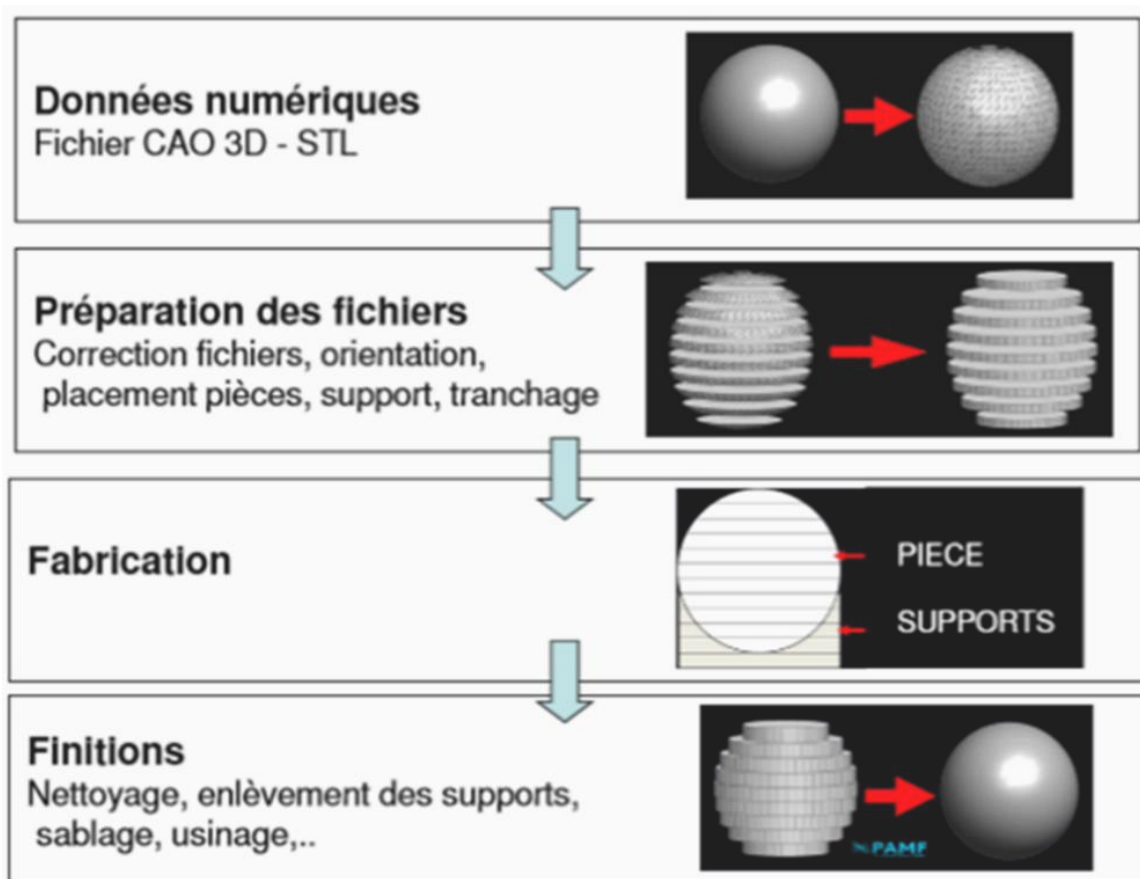


Figure 4 : Etapes d'impression

3.1.3.7 Intégration clinique :

- Thermoformage des gouttières et contentions amovibles sur moulages.
- Contrôle éventuel dimensionnel ponctuel (pied à coulisse ou re scannage) pour vérifier la précision.

3.1.4 À partir d'un CBCT (DICOM → STL)

3.1.4.1 Acquisition CBCT :

- Volume couvrant le crâne ou la zone d'intérêt.
- Paramètres adaptés (voxel 0,2–0,4 mm pour crâne).

3.1.4.2 Segmentation, Seuillage :

3.1.4.2.1 Logiciel conventionnels

- Import des DICOM dans le logiciel de segmentation (Radiant DICOM, 3D Slicer, Materialise Mimics, etc.).
- Seuil osseux approprié,
- Nettoyage des artefacts,
- Lissage.
- Export STL du crâne ou des segments (maxillaire, mandibule, condyles).

3.1.4.2.2 Logiciel avec IA

- import dans un logiciel de segmentation par IA (intelligence artificielle) : RELU, Dentalmesh, 3D slicer et son extension DentalSegmentator, Diagnocat, CephX ...
- Export STL du crâne ou des segments (maxillaire, mandibule, condyles).

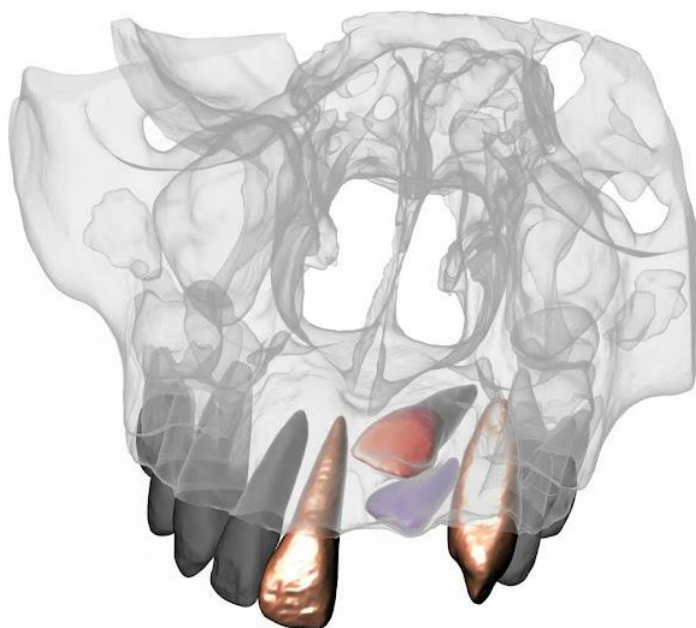


Figure 5 : Segmentation par IA d'un maxillaire et de dents incluses

3.1.4.3 Fusion éventuelle CBCT + IOS :

- Superposition des arcades scannées (STL) sur les dents issues du CBCT pour afficher une denture plus détaillée. Fait en automatique sur certains logiciels IA

3.1.4.4 Préparation du modèle :

- Éventuelle réduction d'échelle (1:1 ou plus petit).

- Découpe en plusieurs parties imprimables si nécessaire.
- Orientation optimale de la pièce
- Ajout de socles ou de systèmes d'assemblage (plots, tenons). Minimiser les supports, améliore la qualité

3.1.4.5 Impression :

- Choix souvent FDM (PLA) pour les crânes pédagogiques (coût et écologie favorables).
- Résine (DLP/LCD) pour les segments nécessitant une précision élevée.



Figure 6 : Impression pédagogique d'une mandibule et de l'arcade maxillaire avec les racines dentaires

3.1.4.6 Post-traitement :

Identique aux modèles dentaires

- FDM : retrait du plateau, supports, ponçage.
- Résine : rinçage, postcure, assemblage des pièces.
- Contrôle dimensionnel sur quelques repères clés (distances inter-canines, inter-condyliennes...).

4 2. Technologies d'Impression 3D adaptées au cabinetⁱⁱⁱⁱⁱⁱ

4.1 2.1 Impression FDM (Fused Deposition Modeling) – Filaire



Figure 7 : Impression FDM d'un moulage

4.1.1 Principe de Fonctionnement

La technologie FDM fonctionne par extrusion de filament thermoplastique à travers une buse chauffée (180-260°C). Le matériau fondu est déposé couche par couche sur un plateau d'impression. Chaque couche solidifie en refroidissant avant le dépôt de la suivante. La résolution dépend du diamètre de la buse (0.2-0.8 mm) et de l'épaisseur de couche (0.05-0.4 mm).



Figure 8 : imprimante FDM Ultimaker

4.1.2 Avantages

- Coût d'acquisition imprimante faible : 200-3000€ pour une imprimante dentaire
- Matériaux économiques : 15-50€/kg de filament
- Maintenance simple et peu coûteuse
- Pas de produits chimiques de nettoyage
- Volume d'impression généreux, idéal pour grands volumes (crânes, modèles pédagogiques) (jusqu'à 400x400x800 mm)
- Excellente résistance mécanique des pièces
- Large choix de matériaux y compris biocompatibles
- Consommables peu coûteux, possibilité de PLA biosourcé.

4.1.3 Inconvénients

- Résolution limitée (50-200 µm): lignes de couche visibles à partir de 100µm
- Surfaces striées, moins adaptées aux guides et attelles.



Figure 9 : Stries visible sur un modèle FDM (layer à 150µm)

- État de surface nécessitant si nécessaire une finition de ponçage (perte de la précision)
- Temps d'impression longs : 2-8h pour un modèle complet
- Précision dimensionnelle moyenne ($\pm 0.2-0.5$ mm)
- Supports nécessaires pour les surplombs importants
- Non adapté aux détails fins (< 0.5 mm) Précision inférieure aux technos résine pour les détails fins.
- Non biocompatible pour un usage intra-oral prolongé (réservé aux moulages, et à la pédagogie).

4.1.4 Applications en Orthodontie

- Modèles d'étude et de diagnostic
- Aligneurs



Figure 10 : Aligneurs thermoformés sur moulage FDM

- Prototypes de gouttières



Figure 11 : prototype de tooth positionner affichage virtuel

- Gabarits de positionnement



Figure 12 : gouttières thermoformées

- Porte-empreintes individualisés

4.2 Impression Résine (SLA/DLP/LCD) – Photopolymérisation



Figure 13 : a et b : impression de moulage SLA

4.2.1 Principe de Fonctionnement

Les technologies à résine utilisent la photopolymérisation : une lumière UV (laser pour SLA, projecteur DLP, ou écran LCD) solidifie sélectivement une résine liquide photosensible. Trois variantes principales : SLA (laser vectoriel), DLP (projection complète), LCD (masque d'écran). Résolution exceptionnelle : 25-50 microns. Le plateau monte couche par couche hors du bac de résine.



Figure 14 : Formlabs 4 et Nextdent 5100

4.2.1.1 SLA (laser) :

- Un faisceau laser balaie chaque couche. Très bonne finition, vitesse moindre sur plateaux très chargés.

4.2.1.2 DLP :

- Un projecteur expose la couche entière en une fois. Excellente précision, très rapide pour des plateaux pleins, idéal pour la production intensive de modèles et de guides.

4.2.1.3 LCD/MSLA :

- Un écran LCD masque une source UV. Machines souvent plus abordables, très utilisées en cabinet pour les modèles d'orthodontie, avec une précision largement suffisante pour les gouttières.

4.2.2 Avantages communs des technologies d'impression en résine :

- Précision exceptionnelle : $\pm 25-75$ microns. Résolution de détails fins (< 0.2 mm)
- Surface lisse : finition quasi-professionnelle
- Rapidité pour pièces fines : 1-3h pour modèle complet
- Large choix de résines dentaires certifiées (modèles, guides, etc.).
- Matériaux spécialisés : résines biocompatibles, castables, flexibles
- Reproductibilité excellente
- Idéal pour gouttières et guides chirurgicaux

4.2.3 Inconvénients

- Coût d'acquisition élevé : 1500-8000€ Investissement initial plus élevé qu'un FDM, surtout en DLP.
- Résines coûteuses : 50-200€/litre
- Post-traitement obligatoire : lavage IPA + polymérisation UV
- Produits chimiques requis : IPA, gants, ventilation. Gestion des résines liquides (toxicité, EPI, ventilation) et des solvants (IPA).
- Filière de déchets chimiques obligatoire pour résine non polymérisée et solvants usés.
- Volume d'impression limité : 130x80x150 mm typique
- Résines périssables : durée de vie 6-12 mois
- Maintenance régulière du bac et de l'écran/optique

4.2.4 Applications en Orthodontie

- Modèles de précision pour brackets indirects
- Gouttières d'alignement par thermoformage



• Figure 15 : Thermoformage d'aligneurs (plusieurs sur une plaque de 125mm de diamètre)

- Impression directe des gouttières aligneurs (Direct Print Aligner : DPA)
Avec les Résines type TC-85 (Graphy) ou ActiveMemory™ (LuxCreo)



Figure 16 : impression directe de l'aligneur avec supports avec la résine GRAHPY (Forestadent)

- Guides chirurgicaux pour mini-vis
- Gouttières chirurgie orthognathique
- Contentions thermoformées
- Provisoires esthétiques
- Bases de prothèses amovibles
- Impression de volumes originaux selon l'imagination



Figure 17 : Masque imprimé au cabinet pour plaquer le masque FFP1 par pénurie de masque FFP2 (COVID)

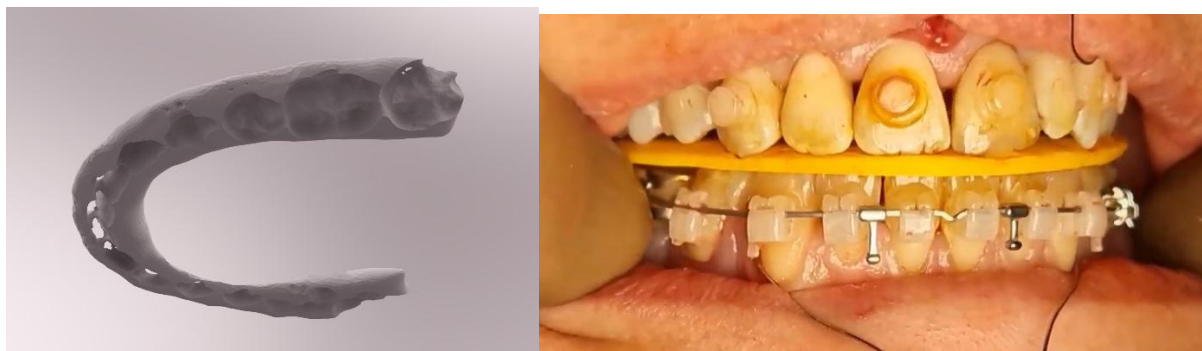


Figure 18 a et b : gouttière chirurgie orthognathique (modélisation virtuelle (a) puis utilisation pendant le geste chirurgical pour une ostéosynthèse précise.

4.3 Technologies plus avancées (PolyJet, SLS...)

PolyJet, SLS et autres technologies poudre ou multi-matériaux offrent une très grande précision et des usages complexes, mais restent peu adaptées au cabinet en raison du coût et de la maintenance. Elles sont surtout présentes dans les laboratoires et les centres hospitaliers.

Ce type d'impression peu s'obtenir pour un praticien en sous-traitant avec un laboratoire d'impression (FABLAB, liste disponible sur : <https://www.fablabs.io/labs>)

5 Comparatif des Matériaux imprimables en Orthodontie

5.1 Comparatif des Matériaux FDM (Filaments)

Le choix du filament est crucial pour les propriétés mécaniques et thermiques des pièces imprimées. Les températures de transition vitreuse (Tg) et de fusion (Tm) sont particulièrement importantes pour le thermoformage de gouttières orthodontiques.

Matériau	T° Impression	T° Plateau	Tg (°C)	Tm (°C)	Thermoform.	Applications	Prix
PLA (Acide Polylactique)	190-220°C	50-60°C	55-65	150-160	60-80°C	Modèles d'étude, maquettes	15-25€/kg
PLA+	200-230°C	50-70°C	60-65	155-165	65-85°C	Modèles renforcés	20-30€/kg
ABS	220-250°C	90-110°C	105	Amorphe	90-120°C	Pièces résistantes, gabarits	18-28€/kg
PETG	220-250°C	70-80°C	80	250	70-95°C	Modèles durables, gouttières	20-35€/kg
TPU (Flexible)	210-230°C	40-60°C	-30 à -50	Variable	Non adapté	Gouttières souples, protecteurs	25-45€/kg

Matériau	T° Impression	T° Plateau	Tg (°C)	Tm (°C)	Thermoform.	Applications	Prix
Nylon (PA12)	240-260°C	80-100°C	45-50	178-180	140-165°C	Pièces mécaniques, usure	35-60€/kg
ASA	240-260°C	90-110°C	100-105	Amorphe	85-115°C	Résistance UV, extérieur	25-40€/kg
Polycarbonate (PC)	260-310°C	100-120°C	145-150	Amorphe	140-165°C	Pièces haute résistance	40-70€/kg
PP (Polypropylène)	220-250°C	90-110°C	-10 à 0	160-165	130-150°C	Charnières vivantes	30-50€/kg

Légende :

- **Tg (Température de transition vitreuse) :** Température à laquelle le matériau devient malléable sans fondre. CRITIQUE pour le thermoformage.
- **Tm (Température de fusion) :** Température de fusion cristalline. 'Amorphe' signifie absence de structure cristalline.
- **Thermoformage :** Plage de température optimale pour former des gouttières sur modèle. Le PETG est particulièrement adapté avec une plage 70-95°C.

5.2 Recommandations pour le thermoformage orthodontique :

L'ABS et le PETG sont les matériaux les plus polyvalent pour créer des modèles destinés au thermoformage de gouttières. Leurs Tg entre 80°C et 100°C permettent un thermoformage précis sans déformation excessive, et leurs résistances mécaniques supérieures au PLA garantissent la durabilité du modèle pour de multiples utilisations. Le Nylon et le Polycarbonate, bien que très résistants, nécessitent des températures de thermoformage plus élevées (>140°C) qui peuvent être problématiques pour certaines thermo formuses classiques.

5.3 Résines

Le choix de la résine est crucial pour la qualité et la biocompatibilité des dispositifs produits. Voici une analyse détaillée des 20 résines les plus utilisées en orthodontie, classées par catégorie d'usage.

Résine	Application	Avantages	Inconvénients
RÉSINES POUR MODÈLES D'ÉTUDE			
Formlabs Model V2	Modèles dentaires, maquettes orthodontiques	Rigide, beige naturel, excellente précision (50µm)	Fragile aux chocs, coût élevé (180€/L)

Résine	Application	Avantages	Inconvénients
NextDent Model 2.0	Modèles pour brackets indirects	Stabilité dimensionnelle, résistance thermique 100°C	Nécessite polymérisation longue (30 min)
Anycubic Plant-Based	Modèles d'étude économiques	Biosourcée, faible odeur, prix attractif (30€/L)	Précision limitée (100µm), non médical
SprintRay Model 2 Gray	Modèles de diagnostic	Rapide (40s/couche), faible warping	Opaque, ne convient pas aux gouttières
RÉSINES BIOCOMPATIBLES CLASSE IIA			
Formlabs BioMed Clear V1	Gouttières, guides chirurgicaux	Certifiée ISO 10993, usage intra-oral <24h	Très cher (299€/L), limité long terme
NextDent Ortho Clear	Gouttières thermoformables	Transparente, résistance à la déformation	Post-traitement critique (polymérisation)
Ackuretta Dental SG	Guides chirurgicaux pour implants	Rigide, stérilisable autoclave, précision 40µm	Opaque, usage unique seulement
Dental LT Clear V2	Usage intra-oral prolongé	Contact >30 jours, excellente biocompatibilité	Prix premium (350€/L)
RÉSINES FLEXIBLES			
NextDent Ortho Flex	Gouttières d'alignement	Flexibilité ajustable, confort patient	Temps de polymérisation long (60 min)
Formlabs Elastic 50A	Gouttières sportives, protecteurs	Très flexible, résistance aux chocs	Non biocompatible, uniquement extra-oral
SprintRay Crown Clear	Provisoires souples	Souple, polissable, esthétique	Durabilité limitée (<6 mois)
KeySplint Soft	Gouttières occlusales nocturnes	Confortable, absorption chocs, biocompatible	Prix élevé (220€/L), supports complexes
RÉSINES CASTABLES (Brutable)			
Formlabs Castable Wax	Pièces à couler (attachements)	Combustion propre, détails fins	Fragile, nécessite laboratoire prothèse

Résine	Application	Avantages	Inconvénients
B9 Yellow Castable	Crochets orthodontiques	Fusion rapide 650°C, cendres <0.02%	Stockage froid requis
RÉSINES TEMPORAIRES			
NextDent C&B MFH	Couronnes et bridges provisoires	Résistance 80 MPa, 4 teintes	Polissage nécessaire, usage <12 mois
Dental SG Temp	Provisoires antérieurs	Esthétique A2, polissage miroir	Non teinté, sensible café/vin
RÉSINES HAUTE TEMPÉRATURE			
Dental LT Clear V2	Thermoformage gouttières	Résiste 150°C, stable dimensionnellement	Nécessite four spécifique
KeyGuide Hard	Guides de forage chirurgicaux	Très rigide, autoclavable 134°C	Opaque, coût élevé (280€/L)
RÉSINES ÉCONOMIQUES			
ELEGOO ABS-Like Pro	Modèles d'étude non-médicaux	Prix imbattable (25€/L), résistant	Non biocompatible, uniquement demo
Phrozen Aqua Gray 8K	Prototypes éducatifs	Faible odeur, lavable à l'eau, 35€/L	Fragilité, non certifié médical
RÉSINES pour Aligneurs en impression direct (DPA)			
Graphy TC85	Impression directe d'aligneurs	rigide à air ambiant et souple à 37° Rapidité, évite l'étape moulage et thermoformage Précision d'adaptation sur les dents	Prix important (350€/L) , Epaisseur de l'aligneur Perte de résine pour supports
ActiveMemory™ (LuxCreo)	Impression directe d'aligneurs	rigide à air ambiant et souple à 37° Rapidité, évite l'étape moulage et thermoformage Précision d'adaptation sur les dents	Prix important (350€/L) , Epaisseur de l'aligneur Perte de résine pour supports

6 Temps d'impression comparatifs

Les temps d'impression varient considérablement selon la technologie, la hauteur de l'objet, la résolution choisie et la complexité géométrique. Voici des estimations réalistes pour des applications orthodontiques courantes.

Objet	FDM (0.15mm)	Résine (50µm)
Modèle arcade complète (40mm hauteur avec socle)	4h - 6h	2h - 3h
Modèle complet max/mand (80mm)	8h - 12h	4h - 6h
Gouttière d'alignement (2mm épaisseur)	Non adapté	45min - 1h30
Guide chirurgical (25mm hauteur)	3h - 4h	1h - 1h30
Porte-empreinte individualisé	2h30 - 4h	1h - 2h
Provisoire antérieur unitaire	Non recommandé	20min - 40min
Post-traitement	5-10 min	15-25 min

Note importante : Les temps indiqués incluent uniquement l'impression. Pour la résine, ajouter systématiquement 15-25 minutes de post-traitement (lavage IPA + polymérisation UV). Le temps réel d'immobilisation de l'imprimante pour une gouttière en résine est donc d'environ 2h00 au total.

7 Comparatif Synthétique des Technologies

Le tableau ci-dessous synthétise les caractéristiques principales des quatre technologies les plus pertinentes au cabinet : FDM/FFF, SLA (laser), DLP et LCD/MSLA.

Critère	FDM / FFF	SLA (laser)	DLP	LCD / MSLA
Principe	Extrusion de filament fondu couche par couche	Balayage d'un laser dans une cuve de résine	Projection d'une image UV de la couche entière	Écran LCD masquant une source UV
Précision & trueness (modèles dentaires)	Moyenne à bonne (suffisante pour ortho dans la plupart des cas) ±0.2-0.5mm	Bonne à très bonne ±0.025-0.05mm	Excellente, très homogène sur le plateau ±0.05-0.075mm	Bonne à très bonne, adaptée aux aligneurs ±0.05-0.075mm

Critère	FDM / FFF	SLA (laser)	DLP	LCD / MSLA
Temps d'impression typique (plateau de modèles)	Plutôt long, fortement dépendant du volume	Modéré, dépend de la hauteur et du balayage	Rapide, surtout pour plateaux remplis	Rapide à modéré, selon la résine et la hauteur
Coût machine (ordre de grandeur)	Bas (entrée de gamme à quelques milliers d'euros) 200-2000€	Moyen à élevé 3000-8000€	Élevé (machines dentaires dédiées) 4000-8000€	Moyen (très compétitif pour LCD dentaires) 4000€
Coût consommables	Faible (PLA, PETG peu coûteux) 15-50€/kg	Résines dentaires plus onéreuses 150-350€/L	Résines dentaires premium, coût élevé 50-200€/L	Résines dentaires ou génériques, coût intermédiaire 50-150€/L
Indications principales au cabinet	Crânes, modèles pédagogiques, modèles de travail simples	Modèles, guides, attelles, IBT selon les résines	Production intensive de modèles, guides, IBT, gouttières	Modèles orthodontiques, IBT, petites gouttières, guides simples
Avantages majeurs	Coût faible, écologie relativement favorable, grands volumes	Très bonne qualité de surface, écosystème structuré	Très grande précision + vitesse, idéal pour gros flux	Excellent rapport qualité/prix, polyvalent pour l'ortho
Limites	Précision moindre, surfaces striées, pas pour l'intra-oral	Investissement et maintenance, vitesse limitée sur gros volumes	Coût initial élevé, environnements plus exigeants	Homogénéité parfois légèrement inférieure au DLP
État de surface	Moyen (lignes à partir de 100µm)	Excellent (lisse)	Très bon	Très bon
Vitesse	Lent (4-8h)	Modéré (2-4h)	Rapide (1-3h)	Rapide (1-3h)
Post-traitement	Minimal (5min)	Complexe (20min)	Modéré (15min)	Modéré (15min)
Maintenance	Faible	Élevée	Modérée	Modérée
Matériaux bio	Limité	Excellent	Bon	Bon
Facilité usage	Très simple	Complexe	Modéré	Modéré
Impact écologique / déchets	Déchets solides recyclables possibles (PLA), pas de solvants	Résine liquide + solvants à gérer comme déchets chimiques	Idem SLA, avec volumes de résine plus importants	Idem SLA/DLP, dépend fortement de la gestion des solvants

8 Analyse Écologique de l'Impression 3D Dentaire

8.1 Consommation Énergétique

8.1.1 FDM (Filament)

- Puissance moyenne : 50-250W selon imprimante
- Consommation modèle arcade : 0.3-0.6 kWh
- Empreinte carbone : 0.15-0.3 kg CO₂eq par modèle

8.1.2 Résine (SLA/DLP/LCD)

- Puissance moyenne : 100-350W (laser/projecteur + chauffage)
- Consommation modèle arcade : 0.2-0.7 kWh
- Station de lavage : 0.1 kWh supplémentaire
- Four de polymérisation : 0.05-0.15 kWh
- Empreinte carbone totale : 0.3-0.8 kg CO₂eq par modèle

8.2 Déchets et Recyclage

8.2.1 FDM

- Supports et échecs : généralement recyclables (PLA, PETG)
- PLA compostable industriellement (pas domestiquement)
- Déchets mécaniques : bobines vides en plastique
- Volume déchets : 5-15% du poids du matériau utilisé

8.2.2 Résine

- Résine liquide excédentaire : NON recyclable, déchet spécial
- Supports et échecs : à polymériser avant élimination
- Alcool isopropylique contaminé : filière déchets chimiques
- Films FEP/nFEP du bac : remplacement tous les 50-200 impression
- Volume déchets dangereux : 100-300 mL IPA/mois en usage intensif

8.3 Impact Comparé aux Méthodes Traditionnelles

Méthode	CO ₂ eq par modèle	Déchets
Coulée plâtre traditionnelle	0.8-1.2 kg	250-350g plâtre
Impression 3D FDM	0.15-0.3 kg	5-10g plastique
Impression 3D résine	0.3-0.8 kg	30-50g + IPA
Laboratoire externe (transport)	0.5-2.0 kg	+ emballage

Conclusion écologique :

L'impression 3D au cabinet, particulièrement en FDM, présente un bilan carbone significativement meilleur que les méthodes traditionnelles grâce à l'élimination du transport et la réduction des déchets. La résine, bien que moins écologique que le FDM, reste compétitive si l'on intègre le cycle de vie complet (pas de transport, production locale à la demande, réduction des rebuts).

8.4 Recommandations environnementales

- Privilégier les résines biosourcées quand la biocompatibilité n'est pas requise
- Recycler l'IPA par distillation (équipement 200-500€, amortissement 1 an)
- Utiliser l'électricité verte si disponible (réduit de 60% l'empreinte carbone)
- Optimiser l'orientation des pièces pour minimiser les supports
- Grouper les impressions pour optimiser la consommation énergétique
- Former le personnel au tri des déchets dangereux (résine)

9 Recommandations pour l'Intégration au Cabinet

9.1 Choix de la Technologie selon les Besoins

9.1.1 Pour un cabinet débutant (budget <3000€) :

- Imprimante filaire FDM milieu de gamme (250-2500€)
- Applications : modèles d'étude, guides chirurgicaux, gouttières

Exemples :

- Résine : Elegoo Mars 4 Ultra, Creality Halot Sky CL-89 2022 6K
- FDM : Raise3D E2, Ultimaker S3 ou S5

9.1.2 Pour un cabinet expérimenté (budget >6000€) :

- Imprimante résine dentaire (3000-10000€) ou FDM (prix inférieur)
- Station de post-traitement complète (800-1200€)

Exemples :

- Résine : Formlabs Form 3B ou 4B, Shining 3D AccuFab-L4K, NextDent 5100
- FDM : Raise3D Pro3, Ultimaker S6

9.2 Aspects réglementaires

- Utiliser uniquement des résines certifiées Classe IIa pour usage intra-oral
- Conserver les certificats de biocompatibilité (ISO 10993)
- Traçabilité : enregistrer les paramètres d'impression et lots de résine
- Respecter les protocoles de post-traitement (polymérisation complète)
- Former le personnel aux bonnes pratiques (gants, ventilation)

9.3 Retour sur investissement

9.3.1 Économies réalisées :

- Modèle d'étude : 50-80€ labo vs 2-5€ impression
- Gouttière occlusale ou aligneurs : 150-250€ labo vs 8-15€ impression/gouttière.
- Guide chirurgical : 200-400€ labo vs 10-20€ impression
- Délai : 3-7 jours labo vs quelques heures en interne

9.3.2 Amortissement typique :

- Cabinet avec 5 impressions/semaine : 6-12 mois
- Cabinet avec 10 impressions/semaine : 3-6 mois
- Valorisation possible : facturation modérée aux patients (20-50€) si ceux-ci souhaitent leurs moulages.

10 Conclusion

L'impression 3D représente un investissement stratégique pour tout cabinet orthodontique moderne car c'est un levier majeur de modernisation, de réactivité et de contrôle qualité. En combinant un flux numérique maîtrisé (IOS + CBCT), le praticien peut internaliser une grande partie de la production : modèles pour aligneurs, gouttières, guides implantaires et de chirurgie orthognathique, crânes pédagogiques.

La clé réside dans :

- Un workflow standardisé et reproductible.
- Un choix raisonné de technologies (FDM + résine) et de résines.
- Une organisation quotidienne qui intègre l'impression dans le planning.
- Une démarche responsable en matière de sécurité et d'écologie.

La technologie résine (SLA/DLP/LCD) s'impose aujourd'hui comme le standard pour les applications nécessitant précision et biocompatibilité, malgré un coût initial plus élevé et un workflow de post-traitement plus exigeant. La technologie FDM conserve sa pertinence pour les modèles d'étude, la réalisation d'aligneurs par thermoformage et les prototypes à moindre coût.

Le choix entre ces technologies doit se baser sur vos applications prioritaires, votre volume d'activité et votre budget. Dans tous les cas, l'intégration de l'impression 3D au cabinet permet :

- Une réduction significative des coûts et délais
- Une autonomie accrue dans la fabrication de dispositifs
- Une amélioration de la qualité et personnalisation des soins
- Une réduction de l'empreinte écologique par rapport aux circuits traditionnels
- Un positionnement technologique valorisé auprès des patients

Rapport sur l'Impression 3D en Orthodontie

Dr Laurent PETITPAS - SQODF -

Ce document constitue une base solide pour structurer l'implantation de l'impression 3D au cabinet, que tu pourras ensuite adapter à ton matériel exact, à tes protocoles et à ton volume d'activité.

L'avenir de l'orthodontie passe incontestablement par la maîtrise de ces outils de fabrication numérique.

Table des matières

1	Introduction	1
2	Objectifs cliniques de l'impression 3D en ODF	1
3	Workflow Global de l'Impression 3D	1
3.1	Acquisition Numérique	1
3.1.1	Scanner Intra-Oral	1
3.1.2	CBCT (Cone Beam Computed Tomography)	1
3.1.3	À partir d'un scanner intra-oral (STL)	1
3.1.4	À partir d'un CBCT (DICOM → STL)	54
4	2. Technologies d'Impression 3D adaptées au cabinet	65
4.1	2.1 Impression FDM (Fused Deposition Modeling) – Filaire	65
4.1.1	Principe de Fonctionnement	76
4.1.2	Avantages	87
4.1.3	Inconvénients	87
4.1.4	Applications en Orthodontie	8
4.2	Impression Résine (SLA/DLP/LCD) – Photopolymérisation	109
4.2.1	Principe de Fonctionnement	109
4.2.2	Avantages communs des technologies d'impression en résine :	1140
4.2.3	Inconvénients	1244
4.2.4	Applications en Orthodontie	1244
4.3	Technologies plus avancées (PolyJet, SLS...)	1443
5	Comparatif des Matériaux imprimables en Orthodontie	1443
5.1	Comparatif des Matériaux FDM (Filaments)	1443
5.2	Recommandations pour le thermoformage orthodontique :	1544
5.3	Résines	1544
6	Temps d'impression comparatifs	1847
7	Comparatif Synthétique des Technologies	1847
8	Analyse Écologique de l'Impression 3D Dentaire	2049
8.1	Consommation Énergétique	2049
8.1.1	FDM (Filament)	2049
8.1.2	Résine (SLA/DLP/LCD)	2049
8.2	Déchets et Recyclage	2049
8.2.1	FDM	2049
8.2.2	Résine	2049
8.3	Impact Comparé aux Méthodes Traditionnelles	2049
8.4	Recommandations environnementales	2120

9	Recommandations pour l'Intégration au Cabinet.....	21 20
9.1	Choix de la Technologie selon les Besoins	21 20
9.1.1	Pour un cabinet débutant (budget <3000€) :	21 20
9.1.2	Pour un cabinet expérimenté (budget >6000€) :	21 20
9.2	Aspects réglementaires	21 20
9.3	Retour sur investissement.....	22 24
9.3.1	Économies réalisées :	22 24
9.3.2	Amortissement typique :	22 24
10	Conclusion	22 24
11	BIBLIOGRAPHIE.....	26 25

11 BIBLIOGRAPHIE

ⁱ <https://www.primante3d.com/>

ⁱⁱ <https://3ddentalstore.fr/imprimantes-3d/>

ⁱⁱⁱ <https://www.3dnatives.com/>