



كلية الطب
والصيدلة - مراكش
FACULTÉ DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE - MARRAKECH

Année 2023

Thèse N° 149

**Les épithèses faciales fabriquées par impression 3D :
Revue bibliographique et résultats préliminaires chez
des patients du service de chirurgie plastique du CHU
Mohammed VI**

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 12 /05 /2023

PAR

Mr. Said ABIDAR

Né Le 04 novembre 1997 à Marrakech

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MÉDECINE

MOTS-CLÉS

Impression 3D –épithèse faciale– laboratoire d'impression 3D – modélisation 3D

JURY

Mr. Y. BENCHAMKHA

Professeur de chirurgie réparatrice et plastique

PRESIDENT

Mr. M.D. EL AMRANI

Professeur d'anatomie et de chirurgie plastique

RAPPORTEUR

Mr. A.R. EL ADIB

Professeur d'anesthésie et de réanimation

Mme. M. OUALI IDRISI

Professeur de radiologie

JUGES

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
مَنْ كَفَرَ بَعْدَ إِيمَانِهِ
سَاءَ مَا يَحْكُمُهُ يَوْمَئِذٍ



Serment d'Hippocrate

Au moment d'être admis à devenir membre de la profession médicale, je m'engage solennellement à consacrer ma vie au service de l'humanité.

Je traiterai mes maîtres avec le respect et la reconnaissance qui leur sont dus.

*Je pratiquerai ma profession avec conscience et dignité.
La santé de mes malades sera mon premier but.*

*Je ne trahirai pas les secrets qui me seront confiés.
Je maintiendrai par tous les moyens en mon pouvoir l'honneur et les nobles traditions de la profession médicale.*

Les médecins seront mes frères.

*Aucune considération de religion, de nationalité, de race, aucune considération politique et sociale, ne s'interposera entre mon devoir et mon patient.
Je maintiendrai strictement le respect de la vie humaine dès sa conception.*

Même sous la menace, je n'userai pas mes connaissances médicales d'une façon contraire aux lois de l'humanité.

Je m'y engage librement et sur mon honneur.

Déclaration Genève, 1948





*LISTE DES
PROFESSEURS*



UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE MARRAKECH

Doyens Honoraires : Pr. Badie Azzaman MEHADJI
: Pr. Abdelhaq ALAOUI YAZIDI

ADMINISTRATION

Doyen : Pr. Mohammed BOUSKRAOUI
Vice doyen à la Recherche et la Coopération : Pr. Mohamed AMINE
Vice doyen aux Affaires Pédagogiques : Pr. Redouane EL FEZZAZI
Vice doyen chargé de la Pharmacie : Pr. Said ZOUHAIR
Secrétaire Générale : Mr. Azzeddine EL HOUDAIGUI

LISTE NOMINATIVE DU PERSONNEL ENSEIGNANTS CHERCHEURS PERMANANT

N°	Nom et Prénom	Cadre	Spécialité
01	BOUSKRAOUI Mohammed (Doyen)	P.E.S	Pédiatrie
02	CHOULLI Mohamed Khaled	P.E.S	Neuro pharmacologie
03	KHATOURI Ali	P.E.S	Cardiologie
04	NIAMANE Radouane	P.E.S	Rhumatologie
05	AIT BENALI Said	P.E.S	Neurochirurgie
06	KRATI Khadija	P.E.S	Gastro-entérologie
07	SOUMMANI Abderraouf	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
08	RAJI Abdelaziz	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
09	KISSANI Najib	P.E.S	Neurologie
10	SARF Ismail	P.E.S	Urologie
11	MOUTAOUAKIL Abdeljalil	P.E.S	Ophtalmologie

12	AMAL Said	P.E.S	Dermatologie
13	ESSAADOUNI Lamiaa	P.E.S	Médecine interne
14	MANSOURI Nadia	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
15	MOUTAJ Redouane	P.E.S	Parasitologie
16	AMMAR Haddou	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
17	ZOUHAIR Said	P.E.S	Microbiologie
18	CHAKOUR Mohammed	P.E.S	Hématologie biologique
19	EL FEZZAZI Redouane	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
20	YOUNOUS Said	P.E.S	Anesthésie-réanimation
21	BENELKHAIAT BENOMAR Ridouan	P.E.S	Chirurgie générale
22	ASMOUKI Hamid	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
23	BOUMZEBRA Drissi	P.E.S	Chirurgie Cardio-vasculaire
24	CHELLAK Saliha	P.E.S	Biochimie-chimie
25	SAMKAOUI Mohamed Abdenasser	P.E.S	Anesthésie-réanimation
26	LOUZI Abdelouahed	P.E.S	Chirurgie-générale
27	AIT-SAB Imane	P.E.S	Pédiatrie
28	GHANNANE Houssine	P.E.S	Neurochirurgie
29	ABOULFALAH Abderrahim	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
30	OULAD SAIAD Mohamed	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
31	DAHAMI Zakaria	P.E.S	Urologie
32	EL HATTAOUI Mustapha	P.E.S	Cardiologie
33	ELFIKRI Abdelghani	P.E.S	Radiologie
34	KAMILI El Ouafi El Aouni	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
35	MAOULAININE Fadl mrabih rabou	P.E.S	Pédiatrie (Néonatalogie)
36	MATRANE Aboubakr	P.E.S	Médecine nucléaire
37	AIT AMEUR Mustapha	P.E.S	Hématologie biologique
38	AMINE Mohamed	P.E.S	Epidémiologie clinique
39	EL ADIB Ahmed Rhassane	P.E.S	Anesthésie-réanimation
40	MANOUDI Fatiha	P.E.S	Psychiatrie
41	CHERIF IDRISSE EL GANOUNI Najat	P.E.S	Radiologie
42	BOURROUS Monir	P.E.S	Pédiatrie

43	ADMOU Brahim	P.E.S	Immunologie
44	TASSI Noura	P.E.S	Maladies infectieuses
45	NEJMI Hicham	P.E.S	Anesthésie-réanimation
46	LAOUAD Inass	P.E.S	Néphrologie
47	EL HOUDZI Jamila	P.E.S	Pédiatrie
48	FOURAJI Karima	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
49	ARSALANE Lamiae	P.E.S	Microbiologie-virologie
50	BOUKHIRA Abderrahman	P.E.S	Biochimie-chimie
51	KHALLOUKI Mohammed	P.E.S	Anesthésie-réanimation
52	BSISS Mohammed Aziz	P.E.S	Biophysique
53	EL OMRANI Abdelhamid	P.E.S	Radiothérapie
54	SORAA Nabila	P.E.S	Microbiologie-virologie
55	KHOUCHANI Mouna	P.E.S	Radiothérapie
56	JALAL Hicham	P.E.S	Radiologie
57	OUALI IDRISSE Mariem	P.E.S	Radiologie
58	ZAHLANE Mouna	P.E.S	Médecine interne
59	BENJILALI Laila	P.E.S	Médecine interne
60	NARJIS Youssef	P.E.S	Chirurgie générale
61	RABBANI Khalid	P.E.S	Chirurgie générale
62	HAJJI Ibtissam	P.E.S	Ophthalmologie
63	EL ANSARI Nawal	P.E.S	Endocrinologie et maladies métabolique
64	ABOU EL HASSAN Taoufik	P.E.S	Anesthésie-réanimation
65	SAMLANI Zouhour	P.E.S	Gastro-entérologie
66	LAGHMARI Mehdi	P.E.S	Neurochirurgie
67	ABOUSSAIR Nisrine	P.E.S	Génétique
68	BENCHAMKHA Yassine	P.E.S	Chirurgie réparatrice et plastique
69	CHAFIK Rachid	P.E.S	Traumato-orthopédie
70	MADHAR Si Mohamed	P.E.S	Traumato-orthopédie
71	EL HAOURY Hanane	P.E.S	Traumato-orthopédie
72	ABKARI Imad	P.E.S	Traumato-orthopédie
73	EL BOUIHI Mohamed	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale

74	LAKMICH Mohamed Amine	P.E.S	Urologie
75	AGHOUTANE El Mouhtadi	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
76	HOCAR Ouafa	P.E.S	Dermatologie
77	EL KARIMI Saloua	P.E.S	Cardiologie
78	EL BOUCHTI Imane	P.E.S	Rhumatologie
79	AMRO Lamyae	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
80	ZYANI Mohammad	P.E.S	Médecine interne
81	GHOUNDALE Omar	P.E.S	Urologie
82	QACIF Hassan	P.E.S	Médecine interne
83	BEN DRISS Laila	P.E.S	Cardiologie
84	MOUFID Kamal	P.E.S	Urologie
85	QAMOUSS Youssef	P.E.S	Anesthésie réanimation
86	EL BARNI Rachid	P.E.S	Chirurgie générale
87	KRIET Mohamed	P.E.S	Ophthalmologie
88	BOUCHENTOUF Rachid	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
89	ABOUCHADI Abdeljalil	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
90	BASRAOUI Dounia	P.E.S	Radiologie
91	RAIS Hanane	P.E.S	Anatomie Pathologique
92	BELKHOU Ahlam	P.E.S	Rhumatologie
93	ZAOUI Sanaa	P.E.S	Pharmacologie
94	MSOUGAR Yassine	P.E.S	Chirurgie thoracique
95	EL MGHARI TABIB Ghizlane	P.E.S	Endocrinologie et maladies métaboliques
96	DRAISS Ghizlane	P.E.S	Pédiatrie
97	EL IDRISSE SLITINE Nadia	P.E.S	Pédiatrie
98	RADA Noureddine	P.E.S	Pédiatrie
99	BOURRAHOUE Aicha	P.E.S	Pédiatrie
100	MOUAFFAK Youssef	P.E.S	Anesthésie-réanimation
101	ZIADI Amra	P.E.S	Anesthésie-réanimation
102	ANIBA Khalid	P.E.S	Neurochirurgie
103	TAZI Mohamed Illias	P.E.S	Hématologie clinique
104	ROCHDI Youssef	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie

105	FADILI Wafaa	P.E.S	Néphrologie
106	ADALI Imane	P.E.S	Psychiatrie
107	ZAHLANE Kawtar	P.E.S	Microbiologie- virologie
108	LOUHAB Nisrine	P.E.S	Neurologie
109	HAROU Karam	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
110	BASSIR Ahlam	P.E.S	Gynécologie obstétrique
111	BOUKHANNI Lahcen	P.E.S	Gynécologie obstétrique
112	FAKHIR Bouchra	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
113	BENHIMA Mohamed Amine	P.E.S	Traumatologie-orthopédie
114	HACHIMI Abdelhamid	P.E.S	Réanimation médicale
115	EL KHAYARI Mina	P.E.S	Réanimation médicale
116	AISSAOUI Younes	P.E.S	Anesthésie-réanimation
117	BAIZRI Hicham	P.E.S	Endocrinologie et maladies métaboliques
118	ATMANE El Mehdi	P.E.S	Radiologie
119	EL AMRANI Moulay Driss	P.E.S	Anatomie
120	BELBARAKA Rhizlane	P.E.S	Oncologie médicale
121	ALJ Soumaya	P.E.S	Radiologie
122	OUBAHA Sofia	P.E.S	Physiologie
123	EL HAOUATI Rachid	P.E.S	Chirurgie Cardio-vasculaire
124	BENALI Abdeslam	P.E.S	Psychiatrie
125	MLIHA TOUATI Mohammed	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
126	MARGAD Omar	P.E.S	Traumatologie-orthopédie
127	KADDOURI Said	P.E.S	Médecine interne
128	ZEMRAOUI Nadir	P.E.S	Néphrologie
129	EL KHADER Ahmed	P.E.S	Chirurgie générale
130	LAKOUICHMI Mohammed	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
131	DAROUASSI Youssef	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
132	BENJELLOUN HARZIMI Amine	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
133	FAKHRI Anass	P.E.S	Histologie-embryologie cytogénétique
134	SALAMA Tarik	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
135	CHRAA Mohamed	P.E.S	Physiologie

136	ZARROUKI Youssef	P.E.S	Anesthésie-réanimation
137	AIT BATAHAR Salma	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
138	ADARMOUCH Latifa	P.E.S	Médecine communautaire (médecine préventive, santé publique et hygiène)
139	BELBACHIR Anass	P.E.S	Anatomie pathologique
140	HAZMIRI Fatima Ezzahra	P.E.S	Histologie-embryologie cytogénétique
141	EL KAMOUNI Youssef	P.E.S	Microbiologie-virologie
142	SERGHINI Issam	P.E.S	Anesthésie-réanimation
143	EL MEZOUARI El Mostafa	P.E.S	Parasitologie mycologie
144	ABIR Badreddine	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
145	GHAZI Mirieme	P.E.S	Rhumatologie
146	ZIDANE Moulay Abdelfettah	P.E.S	Chirurgie thoracique
147	LAHKIM Mohammed	P.E.S	Chirurgie générale
148	MOUHSINE Abdelilah	P.E.S	Radiologie
149	TOURABI Khalid	P.E.S	Chirurgie réparatrice et plastique
150	NADER Youssef	Pr Ag	Traumatologie-orthopédie
151	SEDDIKI Rachid	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
152	ARABI Hafid	Pr Ag	Médecine physique et réadaptation fonctionnelle
153	BELHADJ Ayoub	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
154	BOUZERDA Abdelmajid	Pr Ag	Cardiologie
155	ARSALANE Adil	Pr Ag	Chirurgie thoracique
156	ABDELFETTAH Youness	Pr Ag	Rééducation et réhabilitation fonctionnelle
157	REBAHI Houssam	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
158	BENNAOUI Fatiha	Pr Ag	Pédiatrie
159	ZOUIZRA Zahira	Pr Ag	Chirurgie Cardio-vasculaire
160	SEBBANI Majda	Pr Ag	Médecine Communautaire (Médecine préventive, santé publique et hygiène)
161	ABDOU Abdessamad	Pr Ag	Chirurgie Cardio-vasculaire
162	HAMMOUNE Nabil	Pr Ag	Radiologie
163	ESSADI Ismail	Pr Ag	Oncologie médicale

164	MESSAOUDI Redouane	Pr Ag	Ophtalmologie
165	ALJALIL Abdelfattah	Pr Ag	Oto-rhino-laryngologie
166	LAFFINTI Mahmoud Amine	Pr Ag	Psychiatrie
167	RHARRASSI Issam	Pr Ag	Anatomie-patologique
168	ASSERRAJI Mohammed	Pr Ag	Néphrologie
169	JANAH Hicham	Pr Ag	Pneumo-phtisiologie
170	NASSIM SABAH Taoufik	Pr Ag	Chirurgie réparatrice et plastique
171	ELBAZ Meriem	Pr Ag	Pédiatrie
172	BELGHMAIDI Sarah	Pr Ag	Ophtalmologie
173	FENANE Hicham	Pr Ag	Chirurgie thoracique
174	GEBRATI Lhoucine	Pr Hab	Chimie
175	FDIL Naima	Pr Hab	Chimie de coordination bio-organique
176	LOQMAN Souad	Pr Ass	Microbiologie et toxicologie environnementale
177	BAALLAL Hassan	Pr Ag	Neurochirurgie
178	BELFQUIH Hatim	Pr Ag	Neurochirurgie
179	MILOUDI Mouhcine	Pr Ag	Microbiologie-virologie
180	AKKA Rachid	Pr Ag	Gastro-entérologie
181	BABA Hicham	Pr Ag	Chirurgie générale
182	MAOUJOURD Omar	Pr Ag	Néphrologie
183	SIRBOU Rachid	Pr Ag	Médecine d'urgence et de catastrophe
184	BAKZAZA Oualid	Pr Ag	Chirurgie Vasculaire périphérique
185	EL- AKHIRI Mohammed	Pr Ag	Oto-rhino-laryngologie
186	HAJJI Fouad	Pr Ag	Urologie
187	OUMERZOUK Jawad	Pr Ag	Neurologie
188	JALLAL Hamid	Pr Ag	Cardiologie
189	ZBITOU Mohamed Anas	Pr Ag	Cardiologie
190	RAISSI Abderrahim	Pr Ag	Hématologie clinique
191	BELLASRI Salah	Pr Ag	Radiologie
192	DAMI Abdallah	Pr Ass	Médecine Légale
193	AZIZ Zakaria	Pr Ass	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
194	ELOUARDI Youssef	Pr Ag	Anesthésie-réanimation

195	LAHLIMI Fatima Ezzahra	Pr Ag	Hématologie clinique
196	EL FAKIRI Karima	Pr Ass	Pédiatrie
197	NASSIH Houda	Pr Ag	Pédiatrie
198	LAHMINI Widad	Pr Ag	Pédiatrie
199	BENANTAR Lamia	Pr Ag	Neurochirurgie
200	EL FADLI Mohammed	Pr Ag	Oncologie médicale
201	AIT ERRAMI Adil	Pr Ag	Gastro-entérologie
202	CHETTATI Mariam	Pr Ag	Néphrologie
203	SAYAGH Sanae	Pr Ass	Hématologie
204	BOUTAKIOUTE Badr	Pr Ag	Radiologie
205	DOUIREK Fouzia	Pr Ass	Anesthésie-réanimation
206	EL HAKKOUNI Awatif	Pr Ass	Parasitologie mycologie
207	BELARBI Marouane	Pr Ass	Néphrologie
208	AMINE Abdellah	Pr Ass	Cardiologie
209	CHETOUI Abdelkhalek	Pr Ass	Cardiologie
210	WARDA Karima	Pr Ass	Microbiologie
211	EL AMIRI My Ahmed	Pr Ass	Chimie de Coordination bio-organique
212	CHAHBI Zakaria	Pr Ass	Maladies infectieuses
213	MEFTAH Azzelarab	Pr Ass	Endocrinologie et maladies métaboliques
214	ROUKHSI Redouane	Pr Ass	Radiologie
215	EL GAMRANI Younes	Pr Ass	Gastro-entérologie
216	ARROB Adil	Pr Ass	Chirurgie réparatrice et plastique
217	SALLAHI Hicham	Pr Ass	Traumatologie-orthopédie
218	ACHKOUN Abdessalam	Pr Ass	Anatomie
219	DARFAOUI Mouna	Pr Ass	Radiothérapie
220	EL-QADIRY Raby	Pr Ass	Pédiatrie
221	ELJAMILI Mohammed	Pr Ass	Cardiologie
222	HAMRI Asma	Pr Ass	Chirurgie Générale
223	ELATIQUI Oumkeltoum	Pr Ass	Chirurgie réparatrice et plastique
224	BENZALIM Meriam	Pr Ass	Radiologie
225	ABOULMAKARIM Siham	Pr Ass	Biochimie

226	LAMRANI HANCHI Asmae	Pr Ass	Microbiologie-virologie
227	HAJHOUI Farouk	Pr Ass	Neurochirurgie
228	EL KHASSOUI Amine	Pr Ass	Chirurgie pédiatrique
229	SBAAI Mohammed	Pr Ass	Parasitologie-mycologie
230	FASSI FIGHRI Mohamed jawad	Pr Ass	Chirurgie générale
231	BENCHAFAI Ilias	Pr Ass	Oto-rhino-laryngologie
232	SLIOUI Badr	Pr Ass	Radiologie
233	EL JADI Hamza	Pr Ass	Endocrinologie et maladies métaboliques
234	AZAMI Mohamed Amine	Pr Ass	Anatomie pathologique
235	YAHYAOUI Hicham	Pr Ass	Hématologie
236	ABALLA Najoua	Pr Ass	Chirurgie pédiatrique
237	MOUGUI Ahmed	Pr Ass	Rhumatologie
238	SAHRAOUI Houssam Eddine	Pr Ass	Anesthésie-réanimation
239	AABBASSI Bouchra	Pr Ass	Pédopsychiatrie
240	SBAI Asma	Pr Ass	Informatique
241	HAZIME Raja	Pr Ass	Immunologie
242	CHEGGOUR Mouna	Pr Ass	Biochimie
243	RHEZALI Manal	Pr Ass	Anesthésie-réanimation
244	ZOUITA Btissam	Pr Ass	Radiologie
245	MOULINE Souhail	Pr Ass	Microbiologie-virologie
246	AZIZI Mounia	Pr Ass	Néphrologie
247	BENYASS Youssef	Pr Ass	Traumato-orthopédie
248	BOUHAMIDI Ahmed	Pr Ass	Dermatologie
249	YANISSE Siham	Pr Ass	Pharmacie galénique
250	DOULHOUSNE Hassan	Pr Ass	Radiologie
251	KHALLIKANE Said	Pr Ass	Anesthésie-réanimation
252	BENAMEUR Yassir	Pr Ass	Médecine nucléaire
253	ZIRAOUI Oualid	Pr Ass	Chimie thérapeutique
254	IDALENE Malika	Pr Ass	Maladies infectieuses
255	LACHHAB Zineb	Pr Ass	Pharmacognosie
256	ABOUDOURIB Maryem	Pr Ass	Dermatologie

257	AHBALA Tariq	Pr Ass	Chirurgie générale
258	LALAOUI Abdessamad	Pr Ass	Pédiatrie
259	ESSAFTI Meryem	Pr Ass	Anesthésie-réanimation
260	RACHIDI Hind	Pr Ass	Anatomie pathologique
261	FIKRI Oussama	Pr Ass	Pneumo-phtisiologie
262	EL HAMDAOUI Omar	Pr Ass	Toxicologie
263	EL HAJJAMI Ayoub	Pr Ass	Radiologie
264	BOUMEDIANE El Mehdi	Pr Ass	Traumato-orthopédie
265	RAFI Sana	Pr Ass	Endocrinologie et maladies métaboliques
266	JEBRANE Ilham	Pr Ass	Pharmacologie
267	LAKHDAR Youssef	Pr Ass	Oto-rhino-laryngologie
268	LGHABI Majida	Pr Ass	Médecine du Travail
269	AIT LHAJ El Houssaine	Pr Ass	Ophtalmologie
270	RAMRAOUI Mohammed-Es-said	Pr Ass	Chirurgie générale
271	EL MOUHAFID Faisal	Pr Ass	Chirurgie générale

LISTE ARRETEE LE 12/05/2023



DEDICACES



À ma très chère et adorable Maman : Fatima Abídar

Je voudrais te dédier ces quelques mots pour te dire combien je t'aime et combien je suis reconnaissant de tout ce que tu as fait pour moi. Tu as été là pour moi depuis le tout début, toujours présente pour me soutenir dans les bons comme dans les mauvais moments.

Tu m'as appris à être fort, courageux et déterminé, et grâce à toi, j'ai appris à surmonter les obstacles de la vie. Tu as toujours été une source d'inspiration pour moi, avec ta force et ta résilience face aux défis de la vie.

Je te remercie pour tout ce que tu fais pour moi et pour notre famille. Tu es une mère extraordinaire et je suis très fier d'être ton enfant. Je t'aime de tout mon cœur et je serai toujours là pour toi, comme tu l'as été pour moi.

À mon Extraordinaire Papa : Mohammed Abídar

Je tiens à te dédier ces mots pour te témoigner mon amour et ma gratitude infinie. Tu as été pour moi un pilier solide, une source de soutien inébranlable tout au long de ma vie. Tu m'as appris à être fort, à persévérer et à croire en moi-même. Tu as toujours été là pour moi, pour me guider, me conseiller et m'encourager.

Je te remercie pour tout ce que tu as fait pour moi, pour les sacrifices que tu as faits pour m'offrir une vie meilleure. Je suis fier d'être ton fils et de pouvoir t'appeler mon père. Tu es un modèle de sagesse, d'intégrité et de détermination. Je suis reconnaissant d'avoir pu grandir à tes côtés, et de pouvoir continuer à apprendre de toi chaque jour.

***À mes chers frères et ma sœur
Hajar, Abdellatif, Ayoub, Mouad,***

Je tiens à vous remercier pour toutes les années que nous avons passées ensemble, pour les souvenirs inoubliables que nous avons créés, pour les moments de joie et de tristesse que nous avons partagés. Vous avez toujours été là pour moi, me soutenant dans les moments difficiles et célébrant mes réussites avec moi.

Je vous aime plus que tout au monde et je suis heureux de pouvoir compter sur vous pour toujours.

Avec toute ma gratitude et mon affection,

À mon défunt grand-père paternel : El haj Alí abídar

Bien que tu ne sois plus là pour partager ce moment avec moi, je suis sûr que de là-haut tu es fier de moi, cher grand-père. Que tu reposes en paix dans la sainte miséricorde de Dieu.

À mon grand-père maternel

En reconnaissance de ta bonté et de ton affection, je tiens à exprimer ma gratitude et mon respect pour la noblesse de ton être à travers ce travail.

À mes chères grandes mères

C'est avec gratitude envers Dieu que je réalise la chance d'avoir grandi à vos côtés. Votre présence a marqué mon enfance de souvenirs et de rires inoubliables qui pourraient remplir plusieurs vies. Je prie pour que Dieu vous préserve du mal et vous accorde une longue vie.

À mes tantes : Malika, Saadia , Khadija, Nora, Latifa , Fadma

Qui ont toujours été présentes pour moi avec leur soutien et leur encouragement inconditionnels. Je ne serais pas ici aujourd'hui sans votre amour et votre influence positive sur ma vie. Cette soutenance est dédiée à vous, pour vous remercier de tout ce que vous avez fait pour moi. Je vous aime et je vous suis reconnaissant pour toujours.

À mes Oncles : Abdeljalil , Mohammed , Houssin, Ibrahim , Redoane ,Khalid

Je vous dédie cette soutenance en signe de mon profond respect et de mon amour pour vous

À tous mes adorables cousins et cousines, à tous les membres des familles

Votre amour et votre soutien inconditionnels m'ont permis d'arriver jusqu'ici. Cette présentation est pour vous, et je suis heureux de pouvoir la partager avec vous.

À mes amis d'enfance : Naoufal Aboussaid, Ali Darhimaoui, Saïd Aït laïcen

Vous avez été là depuis le début, m'encourageant et me soutenant à chaque étape de ma vie. Aujourd'hui, je veux vous dire à quel point vous êtes importants pour moi et combien je suis reconnaissant de vous avoir dans ma vie. Je suis heureux de dédier ce travail à vous tous.

À mes amis Hamza Alaoui, Saad Abaid, Oussama Alouan, Aït aïssa Abdessamad, Najib aït errouhi, Zakaria Abouhafs, Khaoula aït ben kacem, Soundous abbour, Asma aït Jaad.

Je suis heureux de vous avoir à mes côtés pendant ces années, avec les fous-rires partagés et votre patience et présence inestimables. Je tiens à vous exprimer ma gratitude en vous dédiant cette thèse.

À toi Layla

Je tiens à exprimer mes sentiments de respect à travers ce travail et à te souhaiter tout le succès que tu mérites.

À tous mes enseignants du primaire, collège lycée, et de la faculté de médecine et de pharmacie de Marrakech.

Mes mots ne suffiront jamais à exprimer tout le respect que j'ai pour vous, ainsi que ma reconnaissance pour les sacrifices que vous avez consentis pour ma formation, mon instruction et mon bien-être. Je souhaite sincèrement que Dieu Tout-puissant vous accorde santé, bonheur et longue vie.



REMERCIEMENTS



*A notre maître et président de thèse : Monsieur le professeur Yassine
Benchamkha
Professeur d'enseignement supérieur Chef de service de Chirurgie réparatrice et
plastique au CHU Mohammed VI de Marrakech.*

*Nous vous remercions de l'honneur que vous nous avez fait en acceptant de
présider notre jury. Nous vous remercions de votre enseignement et nous vous
sommes très reconnaissants de bien vouloir porter intérêt à ce travail. Nous
avons bénéficié, au cours de nos études, de votre enseignement clair et précis.
Votre gentillesse, vos qualités humaines, votre modestie n'ont rien d'égal que
votre compétence. Veuillez trouver ici, Professeur, l'expression de nos sincères
remerciements*

*À notre maître et rapporteur de thèse : Monsieur le professeur M.D El Amrani
Professeur d'enseignement supérieur
Service de chirurgie réparatrice et plastique au CHU Mohammed VI*

*Vous m'avez fait un grand honneur en acceptant de me confier ce travail. Je
vous remercie de votre patience, votre disponibilité, de vos encouragements et
de vos précieux conseils dans la réalisation de ce travail. Vos qualités
professionnelles et humaines me servent d'exemple. Je suis très fière d'avoir
appris auprès de vous et j'espère avoir été à la hauteur de votre attente.
Veuillez croire à l'expression de ma profonde reconnaissance et de mon grand
respect.*

*Notre maître et juge de thèse : Professeur Mariem Ouali idrissi Professeur
d'enseignement supérieur.*

Service de Radiologie au CHU Mohammed VI de Marrakech.

*C'est un très grand honneur que vous ayez accepté de siéger parmi notre
honorabile jury.*

*Je vous exprime ici mes remerciements sincères, mon admiration et mon
profond respect.*

*Notre maître et juge de thèse : Professeur Ahmed Ghassane El Adib Professeur
d'enseignement supérieur.*

*Chef de service d'anesthésie et de réanimation au CHU Mohammed VI de
Marrakech.*

*C'est un honneur inestimable et un réel plaisir que vous me faites en acceptant
de faire partie de ce prestigieux jury, malgré vos multiples occupations. Vos
qualités académiques et professionnelles nous inspirent, votre amabilité, votre
modestie et votre ferme volonté de nous transmettre votre immense savoir font
de vous un professeur émérite. Trouvez ici chère maître l'expression de mes
profonds remerciements.*



ABBREVIATIONS



Liste des abréviations

3D	:Tridimensionnel
2D	:bidimensionnel
4D	:quadridimensionnel
CAD	:Computer-aided design (CAD)
CAM	:Computer-aided manufacturing (CAM)
ARE	:reconstruction autologue de l'oreille
TDM	:Tomodensitométrie
CAO	:conception assistée par ordinateur
PLA	:acide polylactique
ABS	:acrylonitrile butadiène styrène
FDM	:Fused deposition modeling
DICOM	:Digital imaging and communications in medicine
CT	:Computed Tomography
USA	:United States of America
STL	:STereoLithography
Wrml	: Web Resource Modeling Language
MIMICS	:Materialise Interactive Medical Image Control System
CBCT	:Cone Beam Computed Tomography
FAO	:Fabrication assistée par ordinateur
PC	:Personal computer
Go	:gigaoctet
Gbps	:Gigabits par seconde
Dh	:Dirham
RTX	:Ray Tracing Texel eXtreme
8G	: 8ème génération
12G	: 12ème génération
FHD	: Full High Definition
Wi-Fi	: wireless fidelity
Hz	:Hertz
Bt	: Bluetooth
ms	:millisecond
MJP	: Multijet printing
UHD	: Ultra-High Definition
UHDS	:Ultra-High Definition simple
XHD	: Xtreme High Definition
XHDS	: Xtreme High Definition Simple
mm	: Milimètre
°C	:degré Celsius
Kg	: Kilogramme
L	:Litre

mL :milli litre
dB :décibel
VCA :Voltage Controlled Amplifier
A :Ampère
TPU :polyuréthane thermoplastique
PC :Polycarbonate
€ :euro
IPA :Alcool Isopropylique
Ma :Maroc
LED : Light Emitting Diode
UV :Ultraviolet
CHU :Centre hospitalier universitaire
CFA : anomalies crâniotaciales
CBC :carcinome basocellulaire
SCC : carcinome épidermoïde
NMSC : Non melanoma Skin Cancer
PDS : Perte de substance
h :heure
IRM :Imagerie par résonance magnétique
TPE : élastomères thermoplastiques
PVA : alcool polyvinylique
PEHD :polyéthylène haute densité
PP :polypropylène
PET : polyéthylène téréphtalate
PMMA :poly méthacrylate de méthyle
SLA :Stereolithography
SLS :Selective Laser Sintering
DLP :Digital Light Processing
MJF :Fusion multi jet
EBM :Electron Beam Melting
USB :Universal Serial Bus
SD :Secure Digital



PLAN



INTRODUCTION	1
PREAMBULES	4
I. les épithèses faciales :.....	5
1. Définition :.....	5
2. Histoires des épithèses	5
3. Les pertes de substances faciales :.....	7
4. les types des épithèses faciales :.....	14
5. les moyens de fixation :.....	15
II. Technique d'impression tridimensionnelle.....	19
1. Définition :.....	19
2. Histoire :.....	20
3. L'impression 3D et ses applications :.....	21
4. Les matériaux d'impression 3D :.....	26
5. Les techniques d'impression 3D.....	30
III. Imprimantes 3D.....	33
1. anatomie de l'imprimante 3D	33
2. les imprimantes 3D disponibles sur le marché.....	36
EXPERIENCE MONDIALE DANS LE DOMAINE D'IMPRESSION TRIDIMENSIONNELLE DES EPITHESES FACIALES	41
I. Les épithèses de pavillons d'oreilles fabriquées par impression 3D :.....	42
1. Expériences de L'Italie.....	42
2. Expérience de la Corée de Sud.....	44
3. Expérience de l'Australie :.....	46
II. Les épithèses de la pyramide nasale fabriquées par impression 3D.....	49
1. Expérience de la Pologne.....	49
2. Expérience de L'Allemagne.....	51
3. Expérience de la Jordanie.....	52
4. Expérience de L'Irak.....	55
5. Expérience de la Malaisie.....	57
III. Les épithèses oculo-palpébrales fabriquées par impression 3D :.....	58
1. Expérience de l'Irland.....	58
2. Expérience de l'Egypte.....	60
EXPERIENCE DU MAROC ET DU CHU MOHAMMED VI DE MARRAKECH CONCERNANT L'IMPRESSION 3D DANS LE DOMAINE MEDICAL.	62
I. En chirurgie Dentaire :.....	63
II. Dans le domaine d'impression des prothèses faciales :.....	63
1. Rabat :.....	63
2. Ben Guerir.....	68
3. Marrakech-CHU Mohammed VI.....	68

PROJET DE MISE EN PLACE D'UN LABORATOIRE D'IMPRESSIION TRIDIMENSIONNELLE AU SEIN DE NOTRE INSTITUTION	73
I. Problématique posée et buts du projet :	74
II. Mise en place du laboratoire d'impression tridimensionnelle.....	75
1. Site du laboratoire :	75
2. équipements nécessaires :	77
3. Les ressources humaines nécessaires pour le projet :	85
III. circuit des patients et étapes de production de l'épithèse :	86
1. La première visite :	86
2. Acquisition des images de Tomodensitométrie et Modélisation 3D :	86
3. Impression 3D :	87
4. Finition de l'épithèse :	87
5. visite Finale et fixation de l'épithèse :	88
6. Mentant a réglé par le patient :	88
IV. Le coût du projet :	88
V. Autres retombées et objectifs du projet.....	90
VI. Autres détails à respecter :	91
CONCLUSION	92
RESUMES	94
BIBLIOGRAPHIE	98



INTRODUCTION



Plus que jamais, la santé est l'un des secteurs les plus enclins à l'innovation. L'impression 3D est de plus en plus sollicitée par les infrastructures de santé, comme en témoigne la fabrication des épithèses faciales. S'il venait à se démocratiser davantage, cet outil pourrait bien répondre à d'autres problématiques, comme la planification chirurgicale et la formation médicale particulièrement l'enseignement d'anatomie.

Quand les limites de la chirurgie réparatrice sont atteintes ; à la suite de pertes de substance acquises ou dans les cas de dysmorphoses congénitales affectant le visage ou d'autres parties du corps, il est possible de réaliser des prothèses appelées épithèses et particulièrement fabriquées par des techniques de fabrications additives.

Les prothèses et les implants sont des éléments importants dans le domaine de la santé, en particulier pour les personnes amputées ou souffrant de malformations. Cependant, leur attribution aux patients est souvent complexe. Les prothèses peuvent être assez coûteuses et parfois peu esthétiques, tandis que les implants ont l'inconvénient d'être sur mesure.

En ce sens, l'impression 3D est une des solutions qui s'offrent au personnel de soin pour élaborer ces éléments artificiels. Rapide et peu onéreuse, cette technique pourrait bien révolutionner l'avenir du corps médical.

Cette thèse a pour but de faire le point sur cette technologie qui est en plein développement et de démontrer ce qu'elle peut apporter à notre pratique quotidienne de la chirurgie plastique.

Dans un premier temps nous détaillerons les différentes étiologies des pertes de substances faciales. Ensuite, nous citerons les différents types des épithèses faciales et leurs moyens de rétentions.

Dans un deuxième temps et pour mieux comprendre cette innovation, nous restituerons tout d'abord l'histoire d'émergence de cette technologie, Les différents domaines d'applications, les techniques et les matériaux utilisés dans l'impression tridimensionnelle, ainsi qu'un bref aperçu sur les composantes d'une imprimante 3D.

En outre, Nous allons passer en revue les différentes expériences au Maroc, y compris notre service de chirurgie plastique de CHU Mohammed VI, ainsi que dans d'autres pays, Nous étudierons leurs méthodes d'obtention ainsi que leurs applications en chirurgie réparatrice et mettre en exergues les infinies possibilités qu'offre cette technologie pour le futur de notre médecine et pratique quotidienne.

Pour compléter ce travail, nous présenterons le projet de mise en place d'un laboratoire d'impression Tridimensionnelle au sein de notre Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech.



PREAMBULES



I. les épithèses faciales :

1. Définition :

Epithèse Faciales ou Prothèse maxillo-faciale étymologiquement, le terme « prothèse » est issu du grec « pro » : « au lieu de », et « tithêmi » : « je place ». Le terme « épithèse » vient du grec « épi » : « sur, au-dessus », et « tithêmi » : « je place ».

La prothèse correspond donc à tout dispositif de remplacement d'un organe ou d'une partie du corps en totalité ou en partie, reproduisant la forme et si possible en rendant les mêmes services fonctionnels. Quant à l'épithèse, il s'agit d'un dispositif de remplacement situé à une extrémité du corps.

2. Histoires des épithèses [1] [2] [3]

L'origine des prothèses maxillo-faciales n'est pas claire. Selon Conroy, la plus ancienne application connue des principes d'ingénierie pour restaurer l'apparence du visage peut être attribuée à Hippocrate.

Des Égyptiens momifiés ont été retrouvés avec des yeux argentés recouverts d'émail et des paupières en bronze, ainsi que des structures nasales et auriculaires. Cependant, cela ne signifie pas que ces prothèses étaient utilisées de leur vivant. Néanmoins, il existe des preuves que les Romains utilisaient les yeux artificiels in vivo.

Comme les Égyptiens, les Grecs anciens fabriquaient des yeux artificiels en argent et les plaçaient sur leurs statues. « Bulbulian » a cité les travaux de Popp (1939) qui a décrit l'utilisation des yeux et de nez artificiels par les Chinois et les Indiens dans les temps anciens.

L'utilisation de ces prothèses dans les sociétés romaines, égyptiennes et indiennes pourrait être motivée par l'amputation des oreilles, du nez et des mains en guise de punition pour des crimes. Le seul cas enregistré de reconstruction maxillo-faciale entre 200 et 1000

après J.-C. est celui de l'empereur byzantin Justinien II, qui s'est fait fabriquer un nez en or pendant son incarcération.

Pendant le califat de Cordoue, Abulcasis, également connu sous le surnom de "prince des médecins", était célèbre en odonto-stomatologie pour ses nombreuses descriptions chirurgicales. Il a décrit la fabrication de prothèses faciales en utilisant de l'ivoire.

Ambroise Paré est à l'origine de la première utilisation documentée de prothèses maxillo-faciales au cours du 16e siècle. Ce chirurgien français mentionne l'utilisation d'yeux, d'oreilles et de nez artificiels et décrit la fabrication d'une prothèse d'obturateur. Les prothèses idéalisées par Paré étaient fabriquées avec différents matériaux comme le papier mâché, le cuir, l'ivoire, l'or et l'argent.

Le verre et le bois ont également été utilisés pour fabriquer des prothèses maxillo-faciales, car ils sont devenus plus courants en Europe au cours du 16e siècle.

En 1681, des yeux artificiels ont été fabriqués en émail afin de "paraître naturels".

Au XIXe siècle, William Morton a utilisé une plaque d'or pour fabriquer une prothèse d'obturateur. Morton a construit un nez artificiel en porcelaine, qui était attaché aux lunettes du patient.

À la fin du XIXe siècle, la vulcanite a été introduite pour la fabrication de prothèses maxillo-faciales. Ce matériau a remplacé la cellulose, les métaux, les céramiques et d'autres matériaux utilisés à l'époque pour la fabrication des prothèses.

Malgré la demande de prothèses oculaires pendant la Première Guerre mondiale, où plus de 600 000 soldats ont été blessés à la tête et au visage, les réglementations gouvernementales ont entravé la fabrication de prothèses oculaires en verre. Les prothèses maxillo-faciales ont joué un rôle important dans la qualité de vie des soldats en convalescence, puisqu'ils ont pu participer à des activités sociales et sortir en public.

Pendant une grande partie de la première moitié du 20ème siècle, les prothèses maxillo-faciales ont été utilisées par les soldats.

La seconde moitié du 20^{ème} siècle est marqué par les progrès de la chimie organique et l'avènement du Silicone.

En 1943, les premières applications de silicone étaient à vocation militaire.

En 1962, les élastomères de silicone « Silastic Medical » étaient disponibles pour le commerce médical. Le silicone reste le matériau de prédilection pour la réalisation d'épithèses, entre autres prothèses, telles que les prothèses mammaires.

1979, « Anders Tjellström » a réalisé la première épithèse auriculaire implanto-portée.

Au début du XXI^e siècle, la réhabilitation faciale prend un nouvel essor avec les premières tentatives de greffes du visage. À ce jour, plus d'une dizaine de greffes du visage ont été réalisées dans le monde entier : en France, aux Etats-Unis, en Chine et en Espagne.

3. Les pertes de substances faciales :

Les étiologies des pertes de substances se regroupent en deux catégories :

3.1. Les déficits congénitaux :

Les anomalies crâniofaciales (CFA) sont un groupe diversifié de déformations de la croissance de la tête et des os du visage. Ces anomalies sont présentes à la naissance (congénitales) et il existe de nombreuses variantes. Certaines anomalies crâniofaciales sont associées à des anomalies ailleurs dans le corps, qui peuvent être graves.

Les types courants d'anomalies crâniofaciales :

- ❖ Fente labiale, une anomalie dans laquelle la lèvre ne se forme pas complètement. Le degré de la fente labiale peut varier considérablement, de léger (encoche de la lèvre) à sévère (grande ouverture de la lèvre jusqu'au nez). [4]
- ❖ La fente palatine se produit lorsque le toit de la bouche ne se ferme pas complètement, laissant une ouverture qui peut s'étendre dans la cavité nasale. La

fente peut impliquer l'un ou l'autre côté du palais. Elle peut s'étendre du palais dur au palais mou. La fente peut également inclure la lèvre. [4]

- ❖ Les dysplasies oto-mandibulaires : On regroupe sous le terme « dysplasies oto-mandibulaires » l'ensemble des malformations associant une agénésie ou hypoplasie de l'oreille et hypoplasie mandibulaire. La malformation peut être uni- ou bilatérale et dans ce cas symétrique ou asymétrique. Elle peut être isolée ou associée à d'autres malformations. [5]

3.2. les déficits acquis :

Ce sont toutes les malformations ou déformations du massif facial acquises plus tard au cours de la vie.

a. la chirurgie carcinologique :

Quand les limites de la chirurgie réparatrice sont atteintes : les cancers du massif facial sont soignés par résection chirurgicale aboutissant à une perte de substance. La guérison ou la rémission n'est envisageable que par une Chirurgie entraînant un préjudice esthétique et fonctionnel malgré qu'elle soit dite « reconstructrice ».

a.1. cancer de l'œil :

Le cancer de l'œil peut désigner tout cancer qui prend naissance dans l'œil. Le cancer commence lorsque les cellules commencent à se développer de manière incontrôlable. Le type de cancer de l'œil le plus courant est le mélanome.

Chez l'adulte, les cancers intraoculaires primitifs les plus courants :

- ❖ Mélanome : Le type de cancer de l'œil le plus fréquent.
- ❖ Lymphome non hodgkinien.

Chez l'enfant, les cancers intraoculaires primitifs les plus fréquents sont :

- ❖ Le rétinoblastome, un cancer qui prend naissance dans les cellules de la rétine (les cellules photosensibles à l'arrière de l'œil).
- ❖ Médullo-épithéliome (C'est le deuxième plus courant, mais il est encore extrêmement rare).

Les cancers intraoculaires secondaires commencent ailleurs dans le corps (fréquemment au niveau du sein et poumon) et se propagent ensuite à l'œil, ils sont en fait plus fréquents que les cancers intraoculaires primitifs. [6]

Il y a trois types d'approches chirurgicales pour l'exérèse du globe oculaire [7] :

- ❖ Enucléation : Ablation de la totalité du globe oculaire, y compris la sclérotique et la cornée, laissant un moignon du nerf optique et des muscles extra-oculaires. C'est l'approche chirurgicale la plus fréquemment pratiquée pour l'élimination des structures intraoculaires. Une prothèse intra-orbitaire est généralement implantée.
- ❖ Éviscération : Ablation de toutes les structures intraoculaires, ne laissant que la sclérotique et parfois la cornée. Une prothèse oculaire est généralement implantée.
- ❖ Exentération : Ablation du globe oculaire et du contenu orbitaire, pouvant inclure l'ablation de l'os orbitaire.

a.2. cancer de la peau (nez/oreille) :

Les trois principaux types de cancer de la peau sont le carcinome basocellulaire (CBC), le carcinome épidermoïde (SCC) et le mélanome. Le CBC et le SCC sont également appelés cancer de la peau non mélanique ou cancer des kératinocytes. Ils sont beaucoup plus fréquents que le mélanome. [8]

Le cancer de la peau se développe principalement sur les zones de peau exposées au soleil, notamment le cuir chevelu, le visage, les lèvres, les oreilles, le cou, la poitrine, les bras et les mains, et sur les jambes chez les femmes. [9]

Les patients atteints de cancer de la peau peuvent être pris en charge de manière non chirurgicale ou chirurgicale avec ou sans reconstruction en fonction de la tumeur pertinente et des facteurs liés au patient. L'excision chirurgicale est préférée comme méthode de traitement de première ligne pour le NMSC (Non melanoma Skin Cancer). [10]

a.3. les tumeurs osseuses maxillo-mandibulaires :

Il existe plusieurs tumeurs osseuses bénignes et malignes de la région maxillo-faciale qui peuvent être responsable d'une large perte de substance après une éventuelle chirurgie d'exérèse. Une tumeur osseuse bénigne apparaît généralement comme une lésion bien circonscrite. La matrice de la tumeur peut être calcifiée ou sclérotique. Les tumeurs malignes présentent souvent des caractéristiques agressives telles qu'une percée corticale, une destruction osseuse et des masses de tissus mous associées.

Les tumeurs osseuses de la région maxillo-faciale peuvent provenir d'éléments osseux, cartilagineux, fibreux, vasculaires, hématopoïétiques, etc. Le tableau « I » montre la classification de l'Organisation mondiale de la santé des tumeurs osseuses bénignes et malignes de la région maxillo-faciale. [11]

Tableau I: Lésions osseuses maxillaires non odontogènes (El-Naggar et coll., 2017)

	Bénin	Malin
Tumeurs bénignes osseuses et cartilagineuses maxillo-faciales	<ul style="list-style-type: none"> -Chondrome -Ostéome -Chondroblastome -fibrome Chondromyxoïde -Ostéoblastome -Ostéome ostéoïde 	<ul style="list-style-type: none"> -Ostéosarcome -Chondrosarcome -Chondrosarcome mésoenchymateux
Lésions fibro et chondro-osseuses	<ul style="list-style-type: none"> -Ostéochondrome -Fibrome ossifiant juvénile -cémentome familial géant -Dysplasie fibreuse -Dysplasie Cémento-osseux 	
Lésions à cellules géantes	<ul style="list-style-type: none"> -Granulome central à cellules géantes -Granulome périphérique à cellules géantes -Chérubisme 	
Kystes osseux	<ul style="list-style-type: none"> -Kyste osseux anévrisimal -Kyste osseux solitaire 	
Tumeurs hématolymphoïdes		<ul style="list-style-type: none"> -Plasmocytome solitaire osseux

Les tumeurs malignes les plus fréquentes au niveau de la voûte palatine et des gencives maxillaires sont les carcinomes épidermoïdes. Mais les autres types de tumeurs malignes ne sont pas rares, notamment celles développées aux dépens des glandes salivaires accessoires (carcinome adénoïde kystique ou adénocarcinome par exemple). Leur exérèse aboutit à une situation de maxillectomie partielle, subtotale ou totale avec perte de substance intéressant à la fois l'os et le revêtement mucogingival allant jusqu'au plancher de l'orbite. Il est aussi parfois nécessaire de sacrifier des tissus cutanés en cas d'envahissement. [12]

b. les traumatismes [13] :

Il s'agit bien évidemment de traumatismes relativement violents susceptibles de provoquer des lésions d'arrachement et impliquant des pertes de substances volontiers pluritissulaires. Il convient surtout de distinguer :

- ❖ Les traumatismes liés aux accidents de la route, aux accidents du travail et, plus généralement, à la traumatologie civile courante telle que constatée actuellement : si l'on peut constater des fractures parfois très nombreuses, réalisant des fracas faciaux potentiellement complexes, les authentiques pertes de substances sont le plus souvent limitées à la région alvéolodentaire et/ou aux parties molles labiales et péri labiales.
- ❖ Les traumatismes en rapport avec des faits de guerre ou des événements apparentés, à l'origine de plaies balistiques dont la gravité et l'étendue sont liées à l'énergie des projectiles, c'est-à-dire à la fois à leur masse et à leur vitesse. Les dégâts provoqués par les armes modernes (armes à feu de petit calibre mais à haute vitesse) peuvent être nettement plus importants que ceux d'armes plus conventionnelles.
- ❖ Les traumatismes balistiques : Dans ces traumatismes graves, il faut bien sûr tenir compte de la possibilité de PDS secondaires avec ou sans PDS initiale, en rapport avec les phénomènes de dévascularisation et/ou d'infection, eux-mêmes à l'origine de nécroses tissulaires et d'élimination de séquestres.

c. les nécroses osseuses iatrogènes :

L'Ostéonécrose de la mâchoire est une lésion d'une partie du maxillaire ou de la mandibule, qui se présente sous la forme d'une exposition osseuse, apparaissant de manière spontanée ou après un acte dentaire. Ces expositions osseuses dans le milieu septique de la cavité buccale donnent lieu soit à des surinfections avec fistulisation, soit à une séquestration lente. Les pertes de substance sont parfois importantes et peuvent aboutir à des handicaps sévères sur le plan de la mastication, de la phonation et de la vie de relation (préjudice esthétique, haleine fétide). [14]

Certains cas de nécrose osseuse partielle ou étendue ont été par le passé décrits comme consécutifs à l'utilisation de dérivés arsénieux. Des pertes de substances palato nasales chez les cocaïnomanes par inhalation [15]. Il faut bien sûr citer les bisphosphonates [16] et le dénosumab [17] qui doivent être systématiquement recherchée devant tout diagnostic d'Ostéonécrose de la mâchoire. Il faut également mentionner le risque de nécrose à la suite d'ostéotomie maxillaire [18] et à la radiothérapie [19].

d. les causes infectieuses :

Les causes infectieuses peuvent être responsable des pertes de substances faciales, mais elles sont devenues rare dans les pays développés : parmi ces infections on cite :

- ❖ La tuberculose : La tuberculose de la région extra-buccale est rare et est rarement primaire. L'atteinte extra-buccale de la joue en l'absence de tuberculose ailleurs dans le corps est rare. Une biopsie et un examen bactérien avec culture doivent être effectués pour un diagnostic précoce car un retard dans le traitement peut entraîner des conséquences dévastatrices.
- ❖ L'ostéomyélite chronique de la mâchoire : est définie par la présence d'un os exposé dans la bouche, qui ne guérit pas après une intervention appropriée. L'ostéomyélite est une inflammation du cortex et de la moelle osseuse qui se développe dans la mâchoire, généralement après une infection chronique. L'incidence de l'ostéomyélite a considérablement diminué depuis l'introduction des antibiotiques. De plus, l'ostéomyélite du squelette de la tête et du cou est rare, en particulier dans les mâchoires. [20]
- ❖ L'aspergillose chez les sujets immunodéprimés : *Aspergillus flavus* est le champignon le plus fréquemment cultivé dans le sinus maxillaire. En raison de l'état immunologique déprimé du patient, *A. flavus* peut se différencier en formes hyphales produisant des toxines qui détruisent les tissus épithéliaux. La pénétration d'*Aspergillus* dans les tissus conjonctifs et vasculaires produit une thrombose et finalement une nécrose des tissus durs et mous. [21]

4. les types des épithèses faciales :

4.1. Les épithèses Orbitaires :

Le défigurement causé par la perte d'un œil peut provoquer des dommages physiques et émotionnels importants. Une prothèse oculaire qui restaure et remplace l'œil naturel et l'orbite a pour but d'améliorer l'esthétique du patient, de restaurer et de maintenir l'intégrité de l'œil. Et par conséquent, d'assurer le bien-être physique et mental du patient.

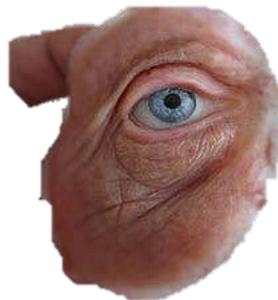


Figure 1 épithèse orbito-palpébrale. [22]

4.2. Les épithèses Nasales :

Les épithèses de la pyramide nasale est un dispositif amovible qui restaure artificiellement le nez ainsi que l'os et la peau environnants perdus à la suite d'une chirurgie du cancer. Une prothèse nasale offre une alternative à la réhabilitation lorsque la reconstruction chirurgicale du nez ne peut être réalisée.



Figure 2 épithèse de pyramide Nasale. [23]

4.3. Les épithèses de Pavillon de l'oreille :

Une épithèse de pavillon d'oreille, aussi appelée prothèse auriculaire, est un dispositif médical conçu pour remplacer une partie ou la totalité du pavillon de l'oreille qui a été perdu ou endommagé.

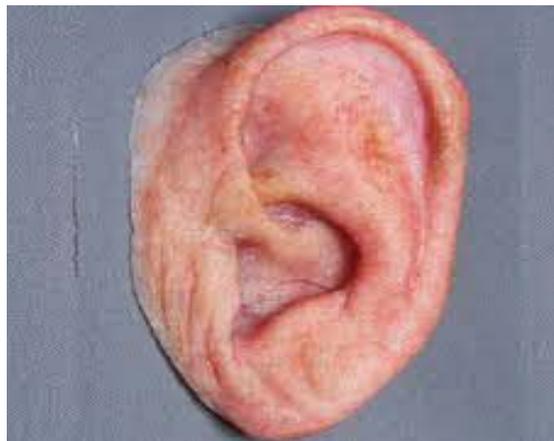


Figure 3 épithèse de pavillon de l'oreille. [24]

5. les moyens de fixation :

La fixation des épithèses doit prendre en considération certaines points :

- ❖ L'épithèse doit être stable pour éviter tout déplacement ou chute.
- ❖ Une mise en œuvre aisée.

- ❖ La participation à la mimique faciale.
- ❖ Le confort pour qu'il soit bien toléré par le patient.

D'autre part, ces moyens de fixation doivent tenir compte de certains paramètres individuels :

- ❖ L'âge du patient : permet le choix de dispositif le plus adéquat.
- ❖ L'état générale du patient et son activité sociale.
- ❖ Les dimensions de la perte de substance
- ❖ L'état des structures sous-jacentes notamment l'état de cicatrisation.
- ❖ Le siège : conditionne le choix du type de prothèse et présente parfois l'avantage d'avoir une cavité naturelle rétentive supplémentaire.

La fixation peut se faire selon deux principes : la rétention mécanique et la rétention anatomique.

5.1. La rétention anatomique :

a. La rétention anatomique naturelle :

Elle consiste en utilisant les différents reliefs et les dépressions du visage (sillon naso-génien /le zygoma), ou bien les cavités naturelles (conduit auditif externe) comme un support afin de stabiliser les bords de l'épithèses.

b. la rétention anatomique artificielle :

Elle peut être réaliser en même temps que la chirurgie d'exérèse ou le chirurgien préserve certains appuis cutanés, osseux, muqueux ou des brides cicatricielles qui constituent de véritables contre-dépouilles.

Elle peut être réaliser également dans un deuxième temps par une intervention chirurgicale spécifique qui permet de créer des moyens rétentifs. [25]

5.2. La rétention mécanique :

a. Les adhésifs :

Les prothèses faciales utilisent souvent des systèmes adhésifs tels que les résines acryliques, les adhésifs en silicone et les rubans sensibles à la pression.

Les adhésifs à base de résine acrylique sont solubles dans l'eau et gagnent en élasticité lorsque l'eau s'évapore. Ces adhésifs peuvent être facilement retirés de tous les matériaux prothétiques à l'exception du polyuréthane.

L'utilisation d'adhésifs dans les prothèses faciales est facilement acceptée par les patients et les familles en raison de sa rentabilité, de son caractère non invasif et de l'absence d'effets secondaires agressifs. [26]

Ils doivent présenter certaines propriétés pour pouvoir être tolérés par les patients :

- ❖ Être Biocompatible, non toxique et ne doit pas irriter les tissus
- ❖ Être Inodore et résistant à l'humidité
- ❖ L'adhésif séché doit avoir une structure poreuse pour permettre le passage des sécrétions
- ❖ Facile à appliquer
- ❖ L'adhésif doit maintenir la prothèse en place pendant au moins 12 h par jour
- ❖ La prothèse doit ne pas endommager les tissus lors du retrait de la peau
- ❖ L'autocollant doit être présenté dans un emballage portable
- ❖ Le matériau doit sécher rapidement.

b. Les montures de lunettes :

Dans Les épithèses sur lunettes, ce sont les montures qui jouent un rôle de support à la prothèse faciale, Quand le patient met ses lunettes, l'épithèse fixée aux montures vient trouver naturellement sa position. Ainsi, quand le patient les retire il retire aussi son épithèse.

Elles sont principalement utilisées dans le cas de l'épithèses orbito-palpébrale et l'épithèse de pyramide nasale. [27]



Figure 4 épithèse nasale sur Monture de lunette. (Source : épithèses-fs)

c. les implants :

Le système crânio-facial à ancrage osseux utilise des implants en Titane qui s'intègrent dans l'os au cours d'un processus appelé ostéo-intégration.

Le système s'articule autour de petits implants en titane qui constituent une base permanente et stable pour la prothèse. Les petits implants en titane sont insérés dans l'os au cours d'une intervention chirurgicale mineure.

Après une courte période de cicatrisation et d'intégration entre l'os et les implants, la prothèse peut être réalisée et mise en place, prête à être utilisée chaque jour.

Tableau II avantages et inconvénients des différents moyens de rétention

Moyens de rétention	Avantages	Inconvénient
Rétention Anatomique	Améliore la stabilité en association aux d'autres moyens de rétention	Souvent inefficace seul
Epithèse collée	Appareillage rapide après cicatrisation	<ul style="list-style-type: none"> -Nettoyage/entretien quotidien contraignant -Détérioration rapide de la prothèse due à l'emploi de solvant (nettoyage) -Nécessite une certaine dextérité pour le collage et l'entretien -Risque potentiel d'allergies aux colles médicale
Epithèse sur monture de lunette	<ul style="list-style-type: none"> -Appareillage rapide après cicatrisation -Entretien aisé -Autonomie du patient 	<ul style="list-style-type: none"> -Lunettes et prothèse sont indissociables l'une de l'autre -Poids de l'ensemble parfois pénalisant -Monture plastique recommandée -Nécessite une attention particulière lors de la manipulation de la prothèse au quotidien
Epithèse sur implants	<ul style="list-style-type: none"> - Fixation simple et fiable -Esthétique -Longévité -Autonomie du patient 	<ul style="list-style-type: none"> -la Pose est effectuée le plus souvent sous anesthésie générale -Attente de 2 à 4 mois après implantation -Surveillance des implants -Déconseillé après radiothérapie

II. Technique d'impression tridimensionnelle

1. Définition :

L'impression 3D ou fabrication additive est un processus de fabrication d'objets solides en trois dimensions à partir d'un fichier numérique. L'objet imprimé en 3D est réalisé à l'aide d'un processus additif en déposant des couches successives de matériau jusqu'à ce que l'objet

entier soit créé. Chacune de ces couches peut être vue comme une coupe horizontale finement tranchée de l'objet éventuel. [28]

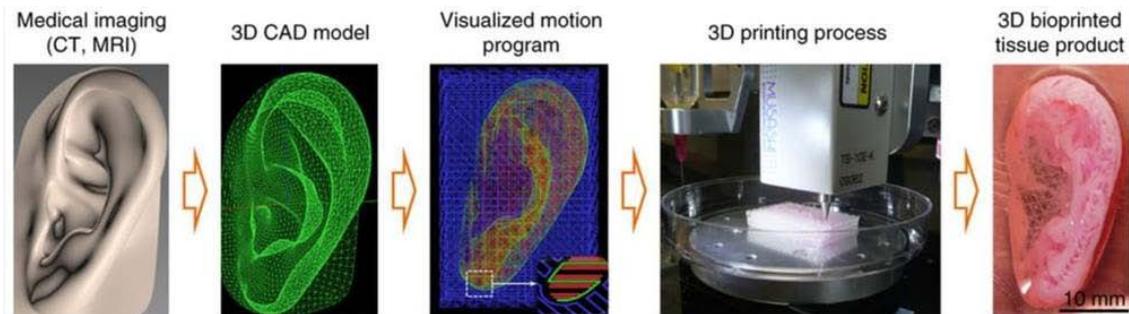


Figure 5 étapes d'impression 3D d'un cartilage d'oreille. (Crédits : université de Wake Forrest) (amp.science-et-vie.com)

2. Histoire [29] :

1980 : Premier brevet du japonais Dr Kodama pour son développement d'une technique de Prototypage rapide.

1984 : une équipe française d'ingénieurs, Alain Le Méhauté, Olivier de Witte et Jean-Claude André, s'intéresse à la stéréolithographie (SLA) qui sera abandonnée plus tard par manque de perspective commerciale.

Charles Hull s'est également intéressé à cette technologie et a déposé un premier brevet pour la stéréolithographie en 1986. Il a fondé la « 3D SYSTEMS Corporation » et, en 1988 a lancé SLA-1.

En 1988, à l'université du Texas, « Carl Deckard » a déposé un brevet pour la technologie SLS, une autre technique d'impression 3D dans laquelle les grains de poudre sont fusionnés localement par un laser.

1990 : En Europe création du premier système « EOS Stereos » pour le prototypage et la production des applications d'impression 3D.

En 1992, le brevet de Modélisation par dépôt en fusion est délivré à Stratasys, qui développe de nombreuses imprimantes 3D.

1993 : Création de Solidscape.

1995 : En 1995, « Z Corp. » obtient une licence exclusive pour l'utilisation d'une nouvelle technologie d'impression 3D.

1999 : L'ingénierie des organes apporte de nouvelles avancées à la médecine.

2000 : premier rein fonctionnel imprimé en 3D est créé mais pas encore transplanté

2005 : « Z Corp. » lance « Spectrum Z510 ». C'était la première imprimante 3D couleur haute définition sur le marché.

2008 : La première prothèse de jambe imprimée en 3D.

2012 : La première mâchoire prothétique est imprimée et implantée.

2016 : Le laboratoire de « Daniel Kelly » annonce être capable d'imprimer des os en 3D.

3. L'impression 3D et ses applications [28] [30] :

Comme toute nouvelle technologie ou invention, l'impression 3D existe pour le bien-être humain et la société. À cet égard, la « hiérarchie des besoins de Maslow » est une bonne méthode d'évaluation de l'apport de cette invention.

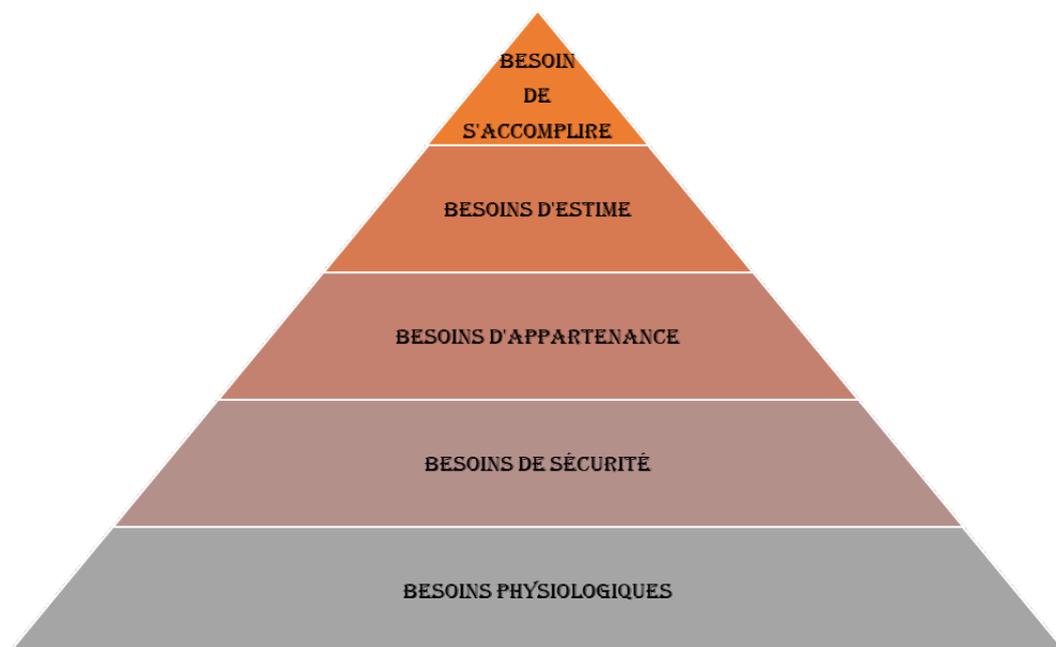


Figure 6 pyramide de Maslow.

3.1. les besoins physiologiques :

A partir de la base de la pyramide, les besoins humains physiologiques primitifs doivent être satisfaits. La nourriture et le logement sont deux besoins essentiels de ce groupe qui ont été abordés par la recherche sur l'impression 3D.

a. L'alimentation :

La nourriture est l'un des besoins fondamentaux de la vie qui se trouve à la base de la pyramide de Maslow. L'idée d'imprimer des produits alimentaires à partir de modèles numériques 3D est incontestablement innovante, intrigante et offre de nombreuses opportunités pour révolutionner complètement la façon de produire des aliments. En effet, L'impression 3D alimentaire a pour ambition de fabriquer des aliments personnalisés sur le plan nutritionnel et sensoriel, de produire des aliments à la demande, de réduire le gaspillage alimentaire et d'offrir des expériences sensorielles innovantes. Alors que les premières expériences se concentraient uniquement sur les chocolats, plus tard, une grande diversité d'aliments, tels que les fruits, la viande, le poisson, les légumes, la pomme de terre, les céréales et les produits laitiers, ont été utilisés comme encres comestibles.



Figure 7 Impression 3D de chocolat. [30]

b. L'industrie du bâtiment :

L'abri est une autre nécessité humaine fondamentale qui peut être une application intéressante pour l'impression 3D. c'est une technique prometteuse qui pourrait révolutionner

l'industrie de la construction dans un avenir proche. Elle présente de nombreux avantages, tels que la réduction des coûts et du temps, la minimisation de la pollution de l'environnement et la diminution des blessures et des décès sur les chantiers.



Figure 8 (a) Vue de face de la maison Apis Cor en Russie ; (b) Processus de fabrication de la maison Apis Cor.-[31]

3.2. Sécurité et santé :

a. La santé :

L'impression 3D est une technologie récente avancée dans ce domaine qui peut être une alternative révolutionnaire avec une variété d'applications dans l'industrie de la transplantation et de la santé en général. La recherche sur l'impression 3D est étudiée dans divers domaines de l'industrie de la santé.

a.1. La planification chirurgicale :

L'une des applications possibles de l'impression 3D qui ont émergé est la planification chirurgicale. Cela implique d'étudier l'anatomie et la physiologie des défauts dans des organes complexes comme le cerveau ou le cœur, ou des spécimens anatomiques tels que le bassin ou la moelle épinière, et d'utiliser ces informations pour la planification chirurgicale. Les modèles 3D peuvent aider les chirurgiens à étudier les organes

défectueux avant l'opération, à explorer différentes approches et à acquérir de l'expérience pratique avant d'entrer dans la salle d'opération.

Ce processus permet de réduire considérablement la durée de l'opération et améliore finalement le résultat de l'opération. [32]

a.2. Les prothèses :

Les progrès récents en matière de prothèses imprimées en 3D permettent aux personnes handicapées, qu'elles soient affectées par un accident ou une malformation génétique, de poursuivre une vie normale. L'impression 3D a la capacité de créer une prothèse anatomique précise utilisée dans diverses applications médicales. Elle a également eu un impact significatif sur le domaine de la dentisterie.



Figure 9 calotte crânienne imprimée en 3D (source : ©H.J. Hunink Producties/REX)

a.3. L'éducation et formation médicale :

L'utilisation de matériel cadavérique pour la formation des médecins débutants a fait l'objet de controverses en raison de questions éthiques et de coûts élevés associés aux processus.

Les techniques d'impression 3D peuvent offrir un substitut novateur et efficace en reproduisant des organes anatomiques complexes à partir d'une imagerie TDM (Tomodensitométrie) de haute résolution.

a.4. L'impression des organes :

La pénurie mondiale d'organes est à l'origine d'innombrables décès dans le monde. Bien que les maladies puissent être traitées par la transplantation, elles peuvent s'accompagner de nombreuses complications. Non seulement la forte demande pour d'organes de donneurs, mais il y a aussi le risque de rejet de greffe. Grâce à l'impression 3D de nombreuses vies peuvent être sauvées et le besoin d'organes sera réduit.

De nombreuses équipes de recherche ont progressé dans le domaine de l'impression d'organes en 3D, des organes complexes tels que le foie et le rein font actuellement l'objet de recherches en vue de leur transplantation in vivo.

a.5. Les médicaments :

L'introduction de l'impression 3D dans l'industrie pharmaceutique a ouvert de nouveaux horizons dans la recherche et le développement de matériaux et de dispositifs imprimés. Les principaux avantages de la technologie d'impression 3D résident dans la production de petits lots de médicaments, chacun avec des dosages, des formes, des tailles et des caractéristiques de libération adaptés. La fabrication de médicaments de cette manière pourrait finalement permettre au concept de médicaments personnalisés de devenir une réalité.

b. Sécurité et réinsertion sociale :

L'impression 3D en tant que technologie de pointe peut aider à compenser le handicap ou la déficience d'une personne en fabriquant des objets 3D composites complexes à l'aide de données numérisées en 3D. Il peut aider les personnes à retrouver leur mobilité, à améliorer leurs opportunités professionnelles et sociales, et éventuellement à favoriser l'autonomie et à

atténuer les problèmes de confiance en soi. À titre d'exemple, Le rôle des épithèses faciales dans le bien-être moral et physique du patient.

4. Les matériaux d'impression 3D [33] [34] :

4.1. Les filaments

a. Filaments PLA :

PLA signifie acide polylactique est le filament le plus couramment utilisé dans l'impression 3D. Le PLA est un bioplastique dérivé de l'amidon de maïs, donc biodégradable et à faible impact environnemental.

C'est l'un des matériaux les plus simples à imprimer. Il peut être extrudé à des températures relativement basses : avec une plage comprise entre 185° et 195°.



Figure 10 Filament PLA (Source : Makershop)

b. Filaments ABS :

L'acrylonitrile butadiène styrène est un dérivé du pétrole. Il a une bonne résistance mais peu de flexibilité. Pour augmenter les caractéristiques de résistance mécanique, une version améliorée a également été créée qui prend le nom d'ABS +.

c. Filaments TPU :

Le polyuréthane thermoplastique (TPU) désigne une famille de composés polymères caractérisés par des liaisons uréthane. Le TPU est un matériau élastique et flexible, généralement transparent, avec une excellente résistance à l'abrasion et à la corrosion des produits chimiques et avec un faible retrait thermique.

Il est imperméable à l'eau et aux gaz et sa résistance combinée à son élasticité en font un excellent matériau pour créer des supports de protection.

d. Filaments PC :

Le Polycarbonate (PC) est un matériau thermoplastique standard d'une grande solidité, capable de résister à des conditions extrêmes. On peut le retrouver dans divers objets de notre quotidien, tels que les phares de voiture, les verres de lunettes, les carters d'appareils électroménagers, et bien d'autres encore.

Avec ses propriétés mécaniques exceptionnelles, le Polycarbonate est particulièrement adapté pour des applications nécessitant une haute résistance à la chaleur, pouvant aller jusqu'à 140 degrés Celsius.

e. Filaments métalliques :

Les filaments métalliques sont normalement composés de PLA et d'un pourcentage variable allant jusqu'à 80 % de poussières métalliques, telles que le cuivre ou le bronze, en utilisant des liants.

Ces filaments ont un rendu visuel très similaire au métal, gardant les caractéristiques physiques, chimiques et d'imprimabilité du PLA presque inchangées.



Figure 11 filament en Acier pour imprimante 3D (source : 3Dnatives)

f. Filaments de bois :

Ce filament est un mélange entre le PLA et un pourcentage variable de fibres de bois jusqu'à environ 20%. Différentes fibres de bois sont utilisées pour obtenir différents effets et couleurs. Le résultat est d'avoir des impressions qui semblent être en bois, avec une texture et même des caractéristiques d'odeur similaires au bois d'origine. Cependant, il peut présenter plus de difficultés d'impression que le PLA.

4.2. les Résines d'impression 3D

Les résines pour imprimantes tridimensionnelles, sont des matériaux qui se trouvent sous forme liquide, dont la composition diffère d'un fabricant à l'autre et souvent ce sont des compositions chimiques très complexes formées principalement de mélanges de polyesters acryliques, de photoinitiateurs et de pigments. Cette variété chimique se traduit par des comportements différents en termes d'élasticité, de résistance, de transparence et de comportements physiques.

a. Résines photopolymères standard

C'est la résine la plus courante, on la trouve dans de nombreuses couleurs, opaques ou transparentes et, dans tous les cas, elle permet une résolution d'impression bien supérieure aux imprimantes à filament normales.

b. Résines dentaires

résine de qualité médicale avec des caractéristiques de biocompatibilité conviennent également pour être implantées ou utilisées pour découper des gabarits ou des guides chirurgicaux. Il est largement utilisé dans le domaine dentaire.



Figure 12 résine dentaire pour Imprimante 3D (source : Direct industry).

c. Résines lavables à l'eau

Résines qui ne nécessitent pas d'alcool isopropylique pour la phase de lavage, mais qui peuvent être lavées à l'eau.

d. Résines de type ABS

Résines avec un degré de résistance similaire à l'ABS.

e. Résines FLEX

Les résines flexibles sont capables de créer des objets très définis mais en même temps extrêmement flexibles, comme le TPU.

f. Résines à base de plantes

Résines écologiques, dérivées de l'huile de soja, de bonnes caractéristiques mécaniques et de résistance, et totalement biodégradables.

g. Résines de cire

Photopolymères chargées d'un pourcentage variable de cires, largement utilisées pour les modèles de précision tels que la production de bijoux ou de petites pièces.

5. Les techniques d'impression 3D

Le terme "impression 3D" englobe plusieurs technologies de fabrication qui permettent de construire des pièces en ajoutant des couches successives de matériau. Chacune de ces technologies présente des variations dans la manière de former des pièces en plastique et en métal, ainsi que dans le choix des matériaux, la finition de surface, la durabilité, la vitesse de fabrication et le coût. [35]

5.1. FDM - Modélisation des dépôts en fusion

Modélisation des dépôts en fusion fonctionne sur un principe "additif" en déposant le matériau en couches. Un filament en plastique ou un fil métallique est déroulé d'une bobine et alimente en matériau une buse d'extrusion qui peut activer et désactiver le flux. La buse est chauffée pour faire fondre le matériau et peut être déplacée dans les directions horizontale et verticale par un mécanisme à commande numérique directement contrôlé par un progiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO). [36]

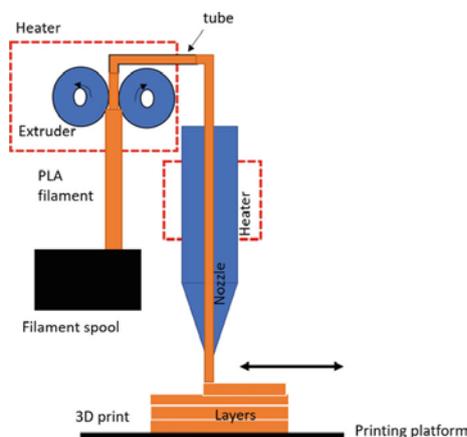


Figure 13 principe de modélisation des dépôts en fusion. [36]

5.2. SLA – Stéréolithographie

La stéréolithographie est un processus de fabrication additive qui utilise une cuve de "résine" photopolymère liquide durcissable aux ultraviolets et un laser ultraviolet pour construire

les couches des pièces une à la fois. Pour chaque couche, le faisceau laser trace une coupe transversale du motif de la pièce sur la surface de la résine liquide. L'exposition à la lumière laser ultraviolette durcit et solidifie le motif tracé sur la résine et le joint à la couche inférieure. Après avoir été construites, les pièces sont immergées dans un bain chimique afin d'être nettoyées de l'excès de résine et sont ensuite durcies dans un four à ultraviolets. [37]

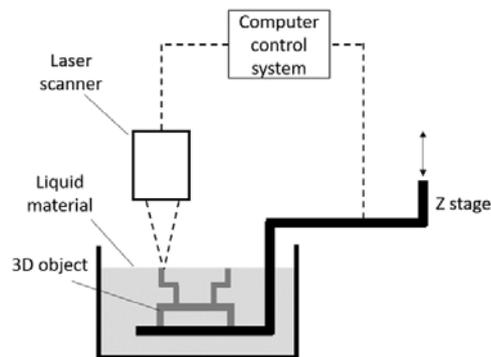


Figure 14 processus de fabrication additive par stéréolithographie. [37]

5.3. SLS - Frittage laser sélectif

Frittage laser sélectif est une technique de fabrication additive qui utilise un laser de haute puissance (par exemple, un laser à dioxyde de carbone) pour fusionner de petites particules de poudres de plastique, de métal (frittage laser direct de métal), de céramique ou de verre en une masse tridimensionnelle. [38]

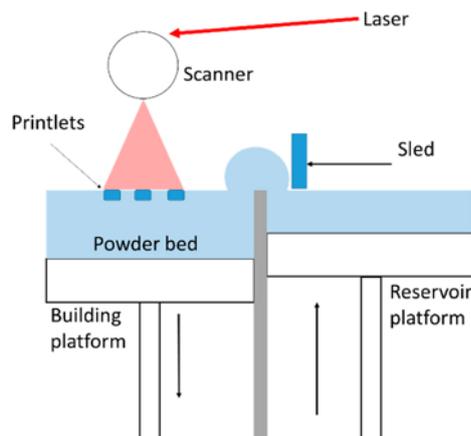


Figure 15 Schéma du système SLS. [38]

5.4. Processus de lumière numérique (DLP)

Le procédé DLP est une technique d'impression 3D qui utilise un projecteur homonyme pour fixer les photopolymères. Très similaire au SLA, ce procédé diffère par l'utilisation d'une ampoule à la place d'un rayon laser UV. Les objets sont créés de la même façon qu'avec le procédé SLA : l'objet peut être tiré en dehors du photopolymère, créant ainsi de l'espace au fond du réservoir pour la couche suivante, ou être plongé dans le réservoir afin de créer une nouvelle couche à sa surface. [39]

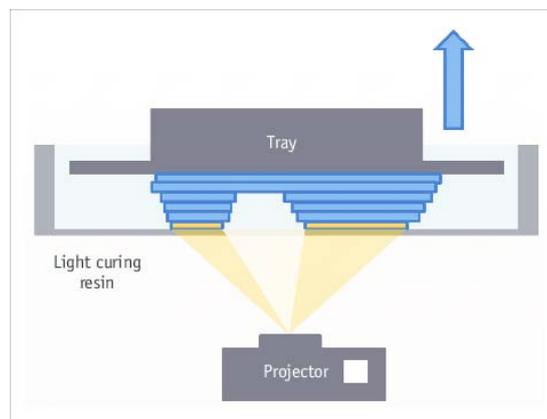


Figure 16 Principe de base de la méthode Processus de lumière numérique. [39]

5.5. Fusion multi jet (MJF)

Semblable au SLS (frittage laser sélectif), l'impression 3D MJF est une technologie de fusion sur lit de poudre (PBF) qui utilise une source de chaleur pour fusionner des particules dans une chambre de fabrication remplie de poudre thermoplastique, souvent du nylon ou du TPU. Son processus diffère toutefois de celui de la SLS, car la MJF n'utilise pas de laser, Il utilise plutôt une source d'énergie infrarouge associée à un agent de fusion pour produire chaque couche de la pièce. [40]

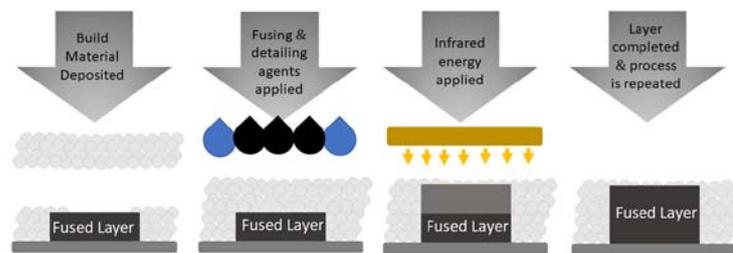


Figure 17 Principe de base de la méthode d'impression multi jet..[41]

5.6. Processus Polyjet

Dans l'impression 3D par technique de Polyjet, une tête d'impression est suspendue au-dessus d'une plateforme de construction. La tête d'impression contient plusieurs buses, ainsi qu'une lampe UV. Pendant l'impression, la tête d'impression balaie la plateforme, éjectant de minuscules gouttes d'un polymère photopolymérisable sur la plateforme d'impression, puis le durcissant presque immédiatement avec la lumière UV. [42]

5.7. Fusion par faisceau d'électrons (EBM)

L'impression 3D par fusion de faisceau d'électrons, ou Electron Beam Melting en anglais (EBM), fait partie de la famille de fusion sur lit de poudre, elle vient utiliser, comme son nom l'indique, un faisceau d'électron pour fusionner des particules de métal et créer, couche par couche, la pièce souhaitée. [43]

III. Imprimantes 3D

1. anatomie de l'imprimante 3D [44]

Une imprimante 3D est un ensemble de pièce qui permettent d'aller créer de beaux modèles. Cependant, ces machines utilisent des composants (globalement les mêmes quelles que soient les imprimantes). Une imprimante 3D comporte beaucoup de pièces, mobiles ou non.

Il existe de nombreuses imprimantes tridimensionnelles différentes sur le marché, chacune avec ses propres caractéristiques, particularités, forces et faiblesses ; cependant,

schématiquement, nous pouvons dire que chaque imprimante est composée de certains composants essentiels qui garantissent son fonctionnement

1.1. Le

Joue un rôle de support qui permet de contenir les pièces d'une imprimante 3D.

1.2. Lit d'impression (plateau)

Le lit d'impression peut être de différentes tailles, selon le type d'imprimante. Lorsque le filament refroidit, la première couche peut adhérer de manière très tenace à la surface ; par conséquent, une plaque de verre ou d'un autre matériau est généralement placée au-dessus de la plaque d'impression, qui peut être détachée pour faciliter la séparation du modèle imprimé de la surface, sans risquer d'endommager la plaque elle-même.

1.3. Extrudeuse

L'extrudeuse est une composante fondamentale des imprimantes à filament (FDM) qui s'occupe de faire glisser le filament, de la bobine à la buse ou "l'extrémité chaude". Elle est composée de roues dentées et de ressorts, qui saisissent le filament et le poussent à vitesse contrôlée dans la buse, de sorte qu'il chauffe.

1.4. Filaments

Par ce terme, nous entendons tous les matériaux, naturels ou artificiels, qui peuvent être utilisés dans le processus d'impression. Chaque filament possède ses propres caractéristiques, allant du point de fusion à l'élasticité, en passant par le point de rupture et la résistance à la traction.

1.5. La tête d'impression

La tête d'impression (hot-end) est l'un des composants essentiels d'une imprimante 3D. Elle reçoit le filament poussé par l'extrudeur, et le fait passer de l'état solide à un état plus visqueux.

Les principaux composants sont :

- a) **Le dissipateur de chaleur** : Le dissipateur a pour fonction de réduire la chaleur. Toutefois, il ne peut réduire la chaleur que lorsque le filament se trouve dans la partie "froide" de la tête d'impression afin de le maintenir dans un état solide. Son utilité consiste donc à maintenir la partie supérieure de la tête d'impression à une température minimale pour éviter la fusion du filament.
- b) **Le heatbreak (point de rupture thermique)** : le filament peut commencer à chauffer dans cette zone, ce qui entraînerait son ramollissement. À ce stade, il passe de sa température initiale à celle requise pour l'extrusion.
- c) **Le bloc chauffant** : Il est constitué de trois composants – un corps de chauffe, une cartouche et une thermistance – et sa fonction est de transmettre la température produite par la cartouche à la buse, tout en étant continuellement surveillé par la thermistance pour prévenir toute surchauffe ou baisse de température.
- d) **La buse** : La buse est responsable du débit du filament fondu pour l'impression. Si le filament utilisé est abrasif, une buse renforcée peut être requise pour éviter son usure.

1.6.

C'est une carte électronique de prototypage rapide constituée de plusieurs composants dont un microcontrôleur permettant de stocker et d'exécuter un programme informatique.

1.7. Les "Stepper Drivers"

Les stepper drivers, ou contrôleur pas à pas servent exclusivement à donner les ordres de déplacements aux moteurs de votre imprimante.

1.8. Les moteurs

Toutes les imprimantes 3D disposent d'au moins 4 moteurs. Pour les imprimantes 3D, on utilise généralement des moteurs pas à pas qui se branchent sur la carte mère.



Figure 18 les différents composants d'une imprimante 3D. [45]

2. les imprimantes 3D disponibles sur le marché

Le marché de l'impression tridimensionnelle n'en est encore qu'à ses débuts, mais il est considéré comme ayant le potentiel de révolutionner la production mondiale et est susceptible de devenir particulièrement disruptant dans certaines industries telles que les soins de santé et l'électronique de haute technologie...

Deux groupes dominent le marché mondial : « 3D SYSTEMS » (qui a racheté « Z corporation ») et « Stratasys », Ces deux entreprises américaines commercialisent plusieurs gammes d'imprimantes 3d, utilisant différentes techniques d'impression (FDM / SLS / SLA ...).

2.1. Imprimantes FDM

Ce sont des Imprimantes qui utilisent le principe de Filament fondu, sont accessibles en termes de coût et de facilité d'usage, le produit final est plus résistant qu'avec les autres machines à SLA.

Tableau III Sélection des imprimantes 3D à FDM (source : 3dnatives)

Modèles							
Nom	Dagoma Neva Magis	Micro delta rework	Dremel 3D45	Ultimaker S5	Epsilon W50SC	M300 Dual	30 Pro MK3
Volumes d'impression	180 x 180 x 120mm	150 x 150 x 200mm	254 x 152 x 171 mm	330 x 240 x 300mm	420 x 300 x 400 mm	265 x 265 x 300 mm	300 x 200 x 310 mm
Fabricant (Pays)	Dagoma (France)	eMotion Tech (France)	Dremel (USA)	Ultimaker (Holland)	BCN3D Technologies (Espagne)	Zortrax (pologne)	Volumic (France)
Nombre d'extrudeur(s)	1	1	1	2	2	2	1
Logiciel d'impression	Cura by Dagoma	Repetier	Digilab 3D Slicer, 3DPrinterOS, Simplify3D	Ultimaker Cura, Cura Connect, plugin SolidWorks et Siemens NX	BCN3D Stratos	Z-suite	Simplify 3D (en option) Verify 3D, Colorify 3D Volunet, Cura

Tableau IV Sélection des imprimantes 3D à FDM (source : 3dnatives) (suite...)

Modèles							
Système d'exploitation	Mac / Windows / Linux	Mac / Windows / Linux	Mac/Windows	Mac / Windows / Linux	Mac / Windows / Linux	Windows / Mac OS	Mac/Windows
Connectivité	USB Carte SD	USB	Clef USB Ethernet Wi-Fi USB	Ethernet Wi-Fi USB	Ethernet Wi-Fi Carte SD	Wi-Fi Ethernet USB	Cable USB, Carte SD, Ethernet
Réglages hauteur et parallélisme	Automatique	Semi-auto	Semi-auto	Automatique	Automatique	Automatique	Automatique
Filaments	PLA	Tous matériaux	Pla, bois, nylon, métal	Tous matériaux	Tous matériaux	Tous matériaux	Tous matériaux
Garantie	24 mois	12 mois	24 mois	24 mois	24 mois	24 mois	24 mois
Prix (euro)	573 €	400 €	1735 €	6900 €	11998.88 €	4490 €	3490 €

2.2. Les Imprimantes SLA

Ce sont des machines qui utilisent le principe de stéréolithographie, de plus en plus elles deviennent plus disponibles sur le marché et commencent à concurrencer les Imprimantes à FDM, Elles sont capables d'imprimer des objets très fins (un cheveu) avec la plus haute résolution et précision possible.

Tableau V Sélection des imprimantes à SLA (source : Aniwaa)

Modèles					
Nom	Isun L120	Form 3+	XFAB 3500HD	Photon M3 Max	Projet 1200
Fabricants (pays)	Esun (chine)	Formlabs (USA)	DWS (Italie)	Anycubic (chine)	3D Systems (USA)
Volume d'impression	120 x 60 x 130	146 × 145 × 185 mm	180 × 180 × 180 mm	300 x 298 x 165 mm	43 × 27 × 180 mm
Logiciel d'impression	Esun3D	PreForm	Fictor XFAB Nauta XFAB	Anycubic Photon Workshop	
Connectivité	Wi-Fi Ethernet	USB Wi-Fi Ethernet	USB Wi-Fi Bluetooth Carte SD Ethernet	USB	USB Wi-Fi Bluetooth Carte SD Ethernet
Système d'exploitation	-	Windows – Mac – Linux	Windows	Windows Mac	Windows
Matières	Résine	Résine	Résine	Résine	Résine
Prix (euro)	900 €	3557 €	6000 €	1090 €	4 981 €

2.3. Les imprimantes SLS

Ce sont des imprimantes utilisant le frittage sélectif par laser, ce procédé permet de créer des objets à géométrie complexe et présentent des caractéristiques mécaniques similaires à celles produites par la technologie de filament fondu.

Tableau VI Sélection des imprimantes SLS (source:aniwaa)

Modèles				
Nom	Fuse 1+	Gravity	Lisa Pro	S2
Fabricants (pays)	Formlabs (USA)	Wematter (Suède)	Sinterit (Poland)	Sintratec (Suisse)
Volume d'impression	165 × 165 × 300 mm	300 × 300 × 300 mm	150 × 200 × 260 mm	160 × 160 × 400 mm
Logiciel d'impression	PreForm	-	Sinterit Studio	Sintratec Nesting
Connectivité	USB Wi-Fi Ethernet	Wi-Fi	USB Wi-Fi	USB Wi-Fi
Système d'exploitation	Windows Mac	-	Windows	-
Matières	Nylon	Nylon PLA ABS ...	Nylon PLA ABS ...	Nylon PLA ABS ...
Prix (euro)	24 746€	116 489€	14490€	32 995€



*EXPERIENCE MONDIALE
DANS LE DOMAINE
D'IMPRESSION
TRIDIMENSIONNELLE DES
EPITHESES FACIALES*



Au cours des dernières décennies, d'énormes progrès ont été réalisés en chirurgie grâce à l'intégration de nombreuses avancées technologiques. L'impression 3D est l'un des développements technologiques les plus récents qui a eu un impact significatif dans le domaine de l'anaplastologie grâce à la conception et à la fabrication d'épithèses à l'aide des imprimantes 3D.

La fabrication additive est un sujet complexe à aborder, principalement en raison du fait que toutes ces méthodes sont encore en cours de conception, de création, de test et d'amélioration. De nombreux chercheurs dans le monde ont déjà abordé de manière très différente la réalisation d'une épithèse faciale à l'aide d'une imprimante 3D.

Ci-dessous sont énumérées les diverses expériences menées dans le monde dans le domaine de l'impression 3D.

I. Les épithèses de pavillons d'oreilles fabriquées par impression

3D :

1. Expériences de L'Italie

L'étude de Mussi et al. a porté sur l'utilisation de cette technologie pour simuler une approche chirurgicale visant la reconstruction de l'oreille à l'aide de tissus autologues.

La reconstruction autologue de l'oreille (ARE), est la pratique clinique standard qui consiste à prélever des cartilages costaux sur le patient et à leur tailler une forme d'oreille tridimensionnelle à implanter sous la peau dans la région auriculaire. Cette procédure est très complexe car elle nécessite une bonne compréhension de l'architecture tridimensionnelle de l'oreille et l'apprentissage de la construction étape par étape d'un cadre harmonieux, qui comprend des éminences et des dépressions. Pour cette raison, la possibilité de simuler l'ARE permettrait d'évaluer les résultats obtenus à chaque représentation et d'identifier les

améliorations possibles. En d'autres termes, la formation à l'aide de modèles imprimés en 3D s'avère être un instrument valable pour permettre aux chirurgiens de pratiquer la procédure de reconstruction et en même temps garantir la qualité et la sécurité des soins aux patients en réduisant le risque d'erreur et en améliorant les résultats cliniques de l'ARE.

Le processus de fabrication du simulateur se déroule en trois étapes principales :

- ❖ L'acquisition des données du patient (par exemple, l'imagerie médicale et le scanner corporel 3D)
- ❖ La modélisation informatique des données 3D par « 3D slicer » / « Mimics »
- ❖ La fabrication additive de tissus ou de moules de ceux-ci.

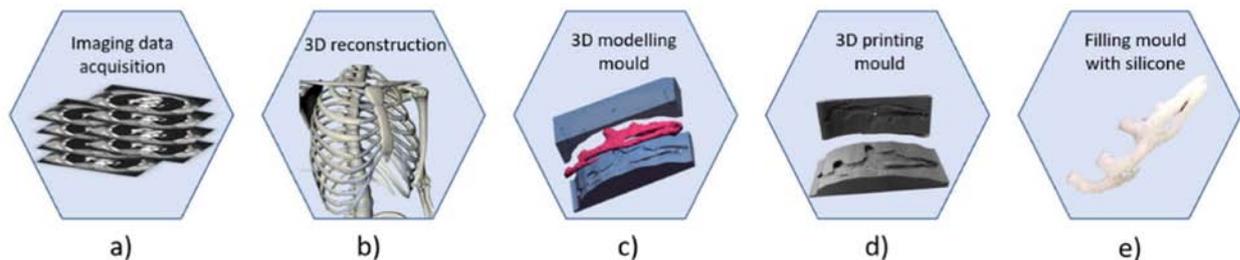


Figure 19 Flux de travail pour produire une réplique précise du cartilage costal : a) acquisition de données d'image de la région thoracique grâce à la TDM, b) traitement d'image et reconstruction 3D, c) modélisation du moule, d) impression du moule, e) injection de silicone à l'intérieur du moule. [46]

La réplique de cartilage obtenu après l'injection de silicone dans le moule permet au chirurgien une bonne planification et une simulation réaliste de l'ARE.

Le deuxième aspect à prendre en compte pour créer un simulateur pour aider les chirurgiens à réaliser l'ARE consiste en la création d'une réplique physique de l'oreille. Le modèle 3D créé par impression 3D fournit des détails et des caractéristiques de la structure de l'oreille surmontant la nécessité de la présence continue du patient pendant la simulation de l'ARE, comme dans l'approche traditionnelle qui repose sur la création d'un modèle 2D à l'aide d'un film radiographique translucide qui est placé contre l'oreille normale, et ses caractéristiques de forme sont tracées à la main. [46]

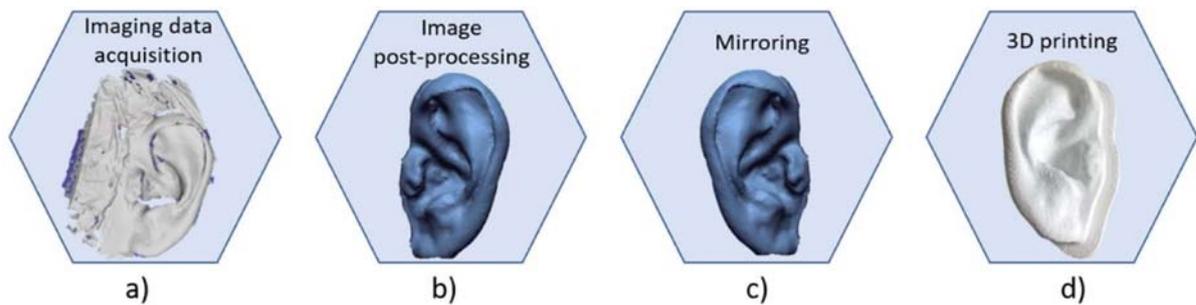


Figure 20 un modèle d'oreille en trois dimensions : (a) acquisition de données d'images de l'oreille saine, (b) post traitement d'images et reconstruction 3D numérique, (c) image en miroir de l'oreille, (d) impression 3d du modèle. (46)

2. Expérience de la Corée de Sud

Jeon et Al. ont étudié la possibilité d'utiliser un modèle d'oreille en trois dimensions (3D) comme référence dans la reconstruction d'une Microtie chez sept patients âgés de 11 ans à 16 ans.

Des moules de l'oreille normale ont été créés au lieu de la numérisation directe, car les enfants étaient trop jeunes pour rester immobiles pendant le processus de numérisation 3D, les moules fabriqués seront l'objet d'une numérisation tridimensionnelle par un scanner 3D « NextEngine » qui génère Le modèle CAO. Le traitement et la transformation en miroir ont été utilisés pour produire le modèle 3DCAD de l'oreille affectée du patient par le logiciel Meshlab (Figure 21).

L'impression est faite à l'aide d'une imprimante 3D (Edison,Rokit).

Une fois que le cartilage costal du patient a été prélevé, une armature pour la reconstruction de la microtie selon la technique de Nagata a été fabriquée en sculptant le cartilage à l'aide d'un modèle d'oreille imprimé en 3D comme référence (Figure 22). [47]

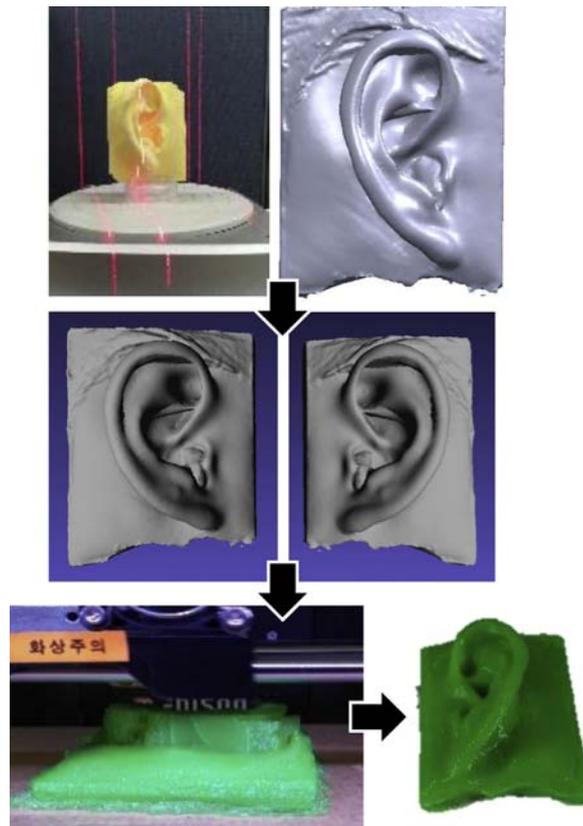


Figure 21 Le processus de fabrication du modèle d'oreille 3D. [47]



Figure 22 sculpter le cartilage costal à l'aide du modèle d'oreille 3D. [47]

3. Expérience de l'Australie :

3.1. Expérience 1

Dans le but de surpasser les limites des Méthodes de fabrication traditionnelle, Cruz et al. ont adopté les techniques de fabrication additive utilisant la numérisation tridimensionnelle, la conception et la fabrication assistée par ordinateur pour produire efficacement des prothèses auriculaires chez six patients atteints d'une anotie.

Deux approches ont été étudiées. La première impliquait la fabrication de moules en acide polylactique (PLA) imprimés en 3D non lissés avec injection de silicone, et la deuxième utilise de moules en acrylonitrile butadiène styrène (ABS) imprimés en 3D, lissés au solvant.

L'acquisition de la géométrie de l'oreille était effectuée sur les oreilles saines des participants par un scanner à lumière structurée « Artec Spider », prétraitées par « Artec studio 11 Professional » puis enregistrés sous format STL. Les scans ont été importés dans le logiciel de CAO « Cinéma 4D R18 » pour supprimer le bruit excessif et les imprécisions de l'image (trous, toiles...).

Les modèles d'oreilles alignées ont été traités dans « Cinema 4D » pour la conception de moules en 3 parties.

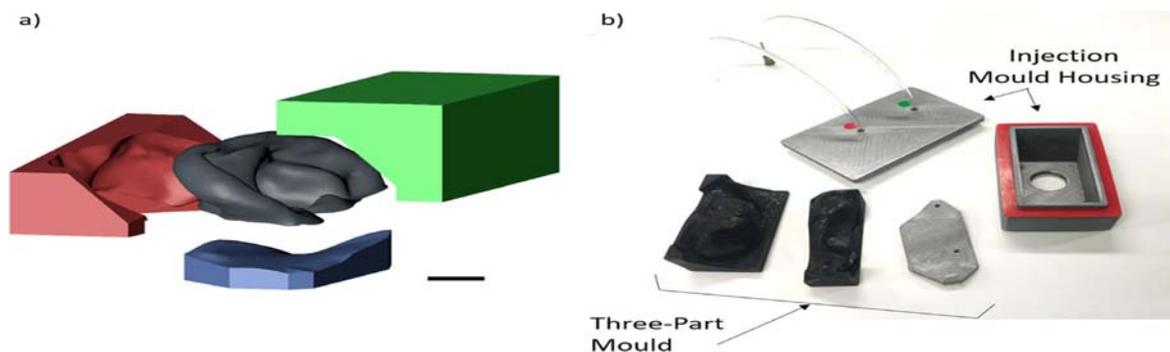


Figure 23 a) moule en 3 parties avec la prothèse b) boîtier de moulage par injection. [48]

Les trois parties du moule ont été imprimées à l'aide de PLA par une imprimante FDM, Lulzbot TAZ 5 dans la première approche. Et par Ultimaker 3 avec des filaments d'ABS, ensuite le moule est traité à l'aide d'un processus de lissage à la vapeur d'acétone dans la deuxième

approche. Ce processus a été complété par l'injection de silicone (PlatsilGel-0020) afin d'obtenir les épithèses. [48]

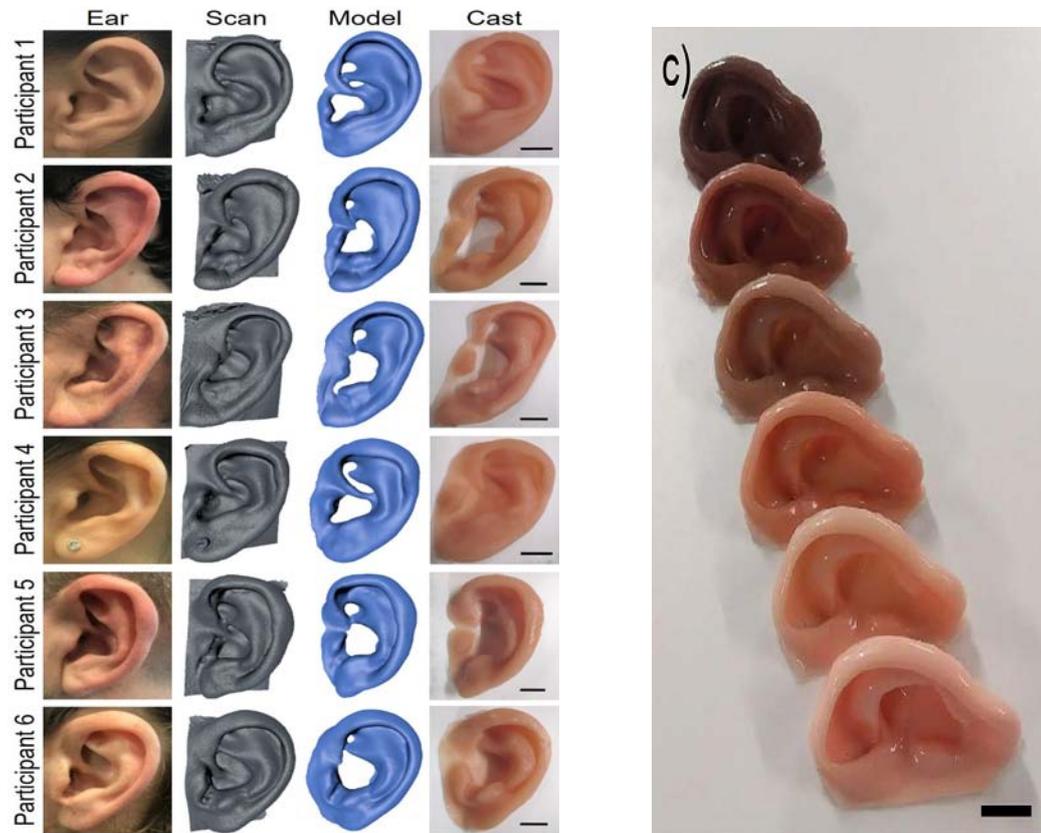


Figure 24 Photographies des oreilles des participants comparées aux scans 3D, aux modèles de prothèse 3D et aux prothèses en silicone fabriquées avec une approche de moule en PLA imprimé en 3D non lissé. c) les prothèses réalisées par des moules en ABS lissé à la vapeur d'Acétone. (Barre d'échelle=1cm). [48]

L'objectif de cette étude était de prouver l'utilité des techniques de fabrication rapide dans le domaine de l'impression 3D en termes de coût, de temps et de précision de l'épithèse, en en les comparant aux techniques traditionnelles de fabrication.

3.2. Expérience 2

Mohammed et al. ont étudié l'utilisation de la modélisation anatomique basée sur l'imagerie médicale, de la CAO et de l'impression 3D dans la production d'une prothèse pour un patient présentant une perte complète de l'oreille gauche.

L'acquisition des images de l'oreille saine a été réalisée au format DICOM à l'aide du scanner CT SOMATOM Perspective (Siemens, Allemagne), traité ensuite à l'aide d'un logiciel Mimics 18.0 (Materialise, Belgique) pour former le modèle Final. Ce dernier a été exporté vers 3-Matic (Materialise, Belgique) pour un post-traitement ultérieur afin d'isoler l'oreille saine de la masse des données.

Le modèle final obtenu a été imprimé par Connex3 objet 500 (Stratasys, USA) en utilisant un élastomère de consistance caoutchouteuse nommé Tango.

Ensuite une empreinte en alginate a été réalisée en utilisant le modèle imprimé en 3D, afin de couler du silicone de qualité médicale pour former l'épithèse en silicone. (Figure 25)



Figure 25 prise d'empreinte par le modèle imprimé en 3D et formation de prothèse en silicone. [49]

Le modèle en cire a été retravaillé à la main pour éliminer tout excès de matière, puis colorer pour imiter le ton de peau du patient.



Figure 26 peinture et durcissement du silicone. [49]

L'épithèse est ensuite placée sur le patient grâce aux cupules de fixation magnétique intégrées dans le dispositif pendant la phase de durcissement. [49]



Figure 27 comparaison entre la prothèse finale et l'oreille saine. [49]

II. Les épithèses de la pyramide nasale par impression 3D

1. Expérience de la Pologne

Egelhoff et al. ont publié un article qui détaille les différentes étapes de la reconstruction prothétique chez un patient de 50 ans, opéré pour un carcinome épidermoïde du nez avec infiltration du maxillaire gauche et de la cavité nasale (T4 N0 M0).

Les données de numérisation faciale ont été obtenues avec une tomodensitométrie à faisceau conique (CS 9600 CBCT scanner), puis importées dans le logiciel Zbrush (Pixologic, USA) sous forme de maillage 3D pour isoler la zone du visage nécessitant une supplémentation avec une épithèse, elles ont été transformées en modèle 3D en utilisant une photo du visage du patient avant le traitement oncologique.

La version numérique a été imprimée en 3D et a servi de modèle d'essai pour l'ajustement afin d'améliorer les moules finaux de l'épithèse.

L'obtention d'un négatif numérique est rendue possible en utilisant les outils du logiciel Zbrush tels que le booléen, Zremesh, Qmesh, et l'îlot Polygroup. Une fois que le modèle est prêt, les moules sont imprimés par une imprimante SLA (Phrozen Sonic Mighty 4K).



Figure 28 épithèse d'essai imprimée en 3D. [50]

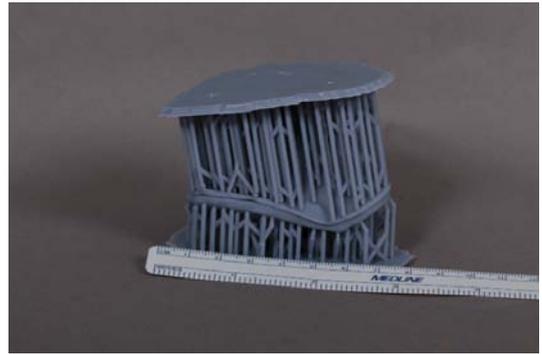


Figure 29 Moules imprimés par une imprimante SLS. [50]

Le silicone (Platsil Gel 10) a été injecté à travers le trou d'infusion au niveau du moule afin d'obtenir l'épithèse finale.

Les montures de lunettes du patient ont été choisies comme principal élément de support de l'épithèse (figure 30). [50]



(a)



(b)

Figure 30 a) patient après la résection oncologique ; b) épithèse faciale restauratrice. [50]

2. Expérience de L'Allemagne

Unkovskiy et al. ont démontré le résultat d'une réhabilitation d'un défaut nasal avec une épithèse en silicone directement imprimée chez une femme de 40 ans après une chirurgie Carcinologie d'un carcinome épidermoïde mal différencié de tout le nez. La patiente a été numérisée avec deux systèmes : un système de photogrammétrie 3D stationnaire (Pritiface ; Pritidenta GmbH ; Allemagne) puis avec un scanner à lumière structurée portable (Artec Spider ; Artec 3D), les deux scans ont été appariés afin d'obtenir une image 3D de l'ensemble du visage. Le modèle de l'épithèse est sculpté par un système CAO Zbrush (Pixologic ; USA) et exporté au Format STL pour une impression directe par la technologie 'Drop-on-Demand' (ACEO ; WACKER).

Deux prothèses de couleur chair ont été imprimées et évaluées sur le patient. Une finition a été nécessaire pour supprimer l'effet d'escalier et améliorer la correspondance des couleurs. La première a été scellée avec un matériau de revêtement en silicone (G531 RTV Silicone ; Technovent Ltd). La deuxième a d'abord été finie superficiellement avec une fraise à fileter fine et ensuite scellée de la même manière que la première.

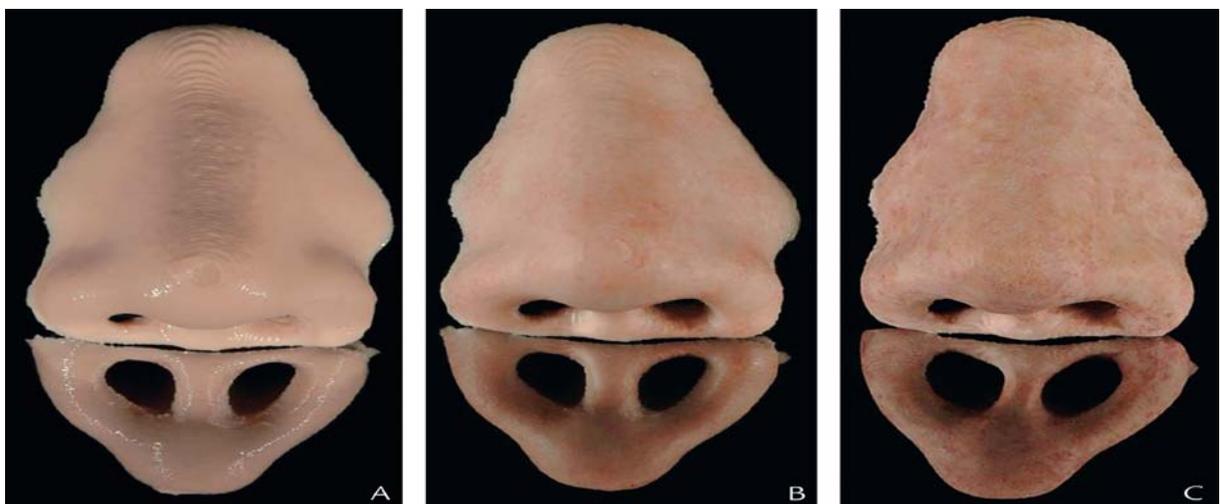


Figure 31 Prothèses en silicone directement imprimées. A, Sans post-traitement. B, scellé avec un revêtement en silicone et coloré. C, poli avec une fraise fine. [51]

Un adhésif cutané (B-530 Secure Adhesive ; Cosmesil Co) a été utilisé pour fixer les deux épithèses au patient. [51]



Figure 32 Première prothèse imprimée directement finie. Scellé avec un revêtement en silicone et coloré. A, vue frontale. B, Vue de profil. [51]



Figure 33 Deuxième prothèse imprimée directement finie. Poli avec une fraise fine, scellé avec un revêtement en silicone et coloré. A, vue frontale. B, Vue profil. [51]

3. Expérience de la Jordanie

Une épithèse nasale a été produite grâce à la technologie d'impression 3D pour un patient de 27 ans qui présentait une perte totale du nez suite à un accident de la voie public.

Le logiciel d'anatomie ProPlan CMF™ (Materialise; Belgique) a été utilisé pour exporter le scanner du patient et segmenter les structures faciales.

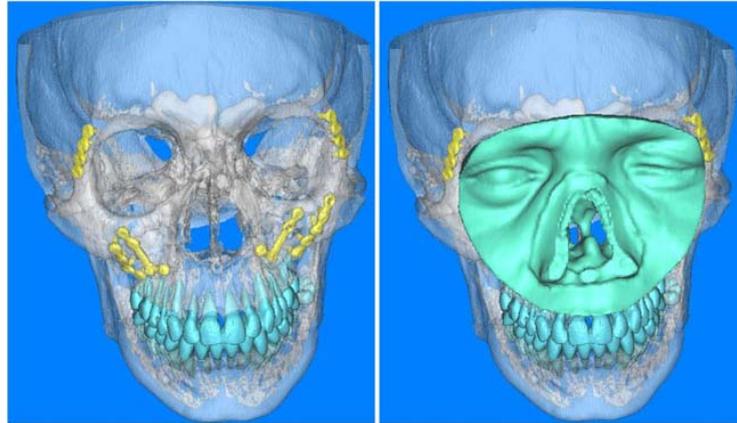


Figure 34 Reconstructions des tissus mous, des tissus durs et des plaques métalliques du scanner. [52]

Le système de couleur numérique Spectromatch (Royaume-Uni) a été utilisé pour enregistrer le teint de la peau et de colorer numériquement les reconstructions à l'aide d'une photo 2D de la patiente.

Le logiciel Zbrush (Pixologic ; USA) a été utilisé pour sculpter le nez manquant.

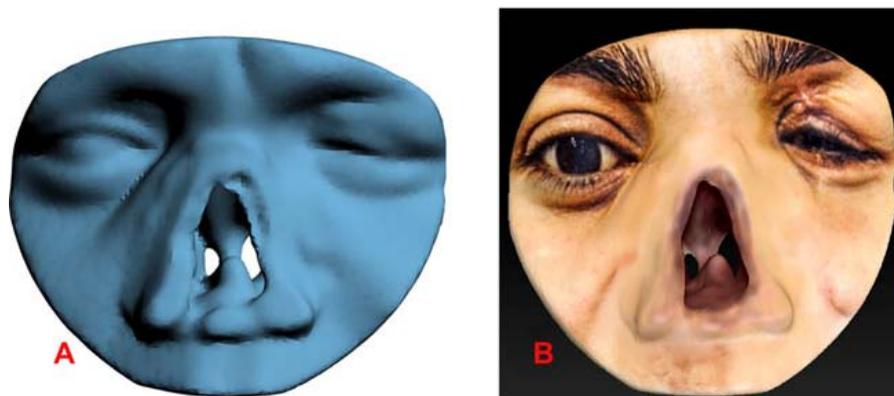


Figure 35 Amélioration de la tomodensitométrie du patient (A) en incorporant sa photo 2D et ses enregistrements de peau pour obtenir une reconstruction 3D colorée. [52]

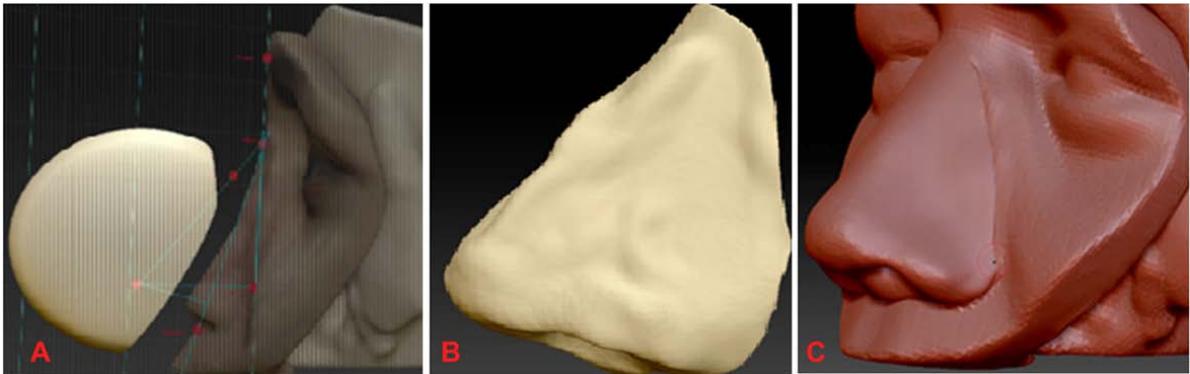


Figure 36 sculpture numérique du nez manquant. [52]

Les fichiers de conception (du visage et du nez) ont été exportés au format '. Wrml' et ont été imprimés en 3D à l'aide de J750 (Stratasys ; USA) en utilisant Tango Plus comme matériau pour le prototypage rapide.



Figure 37 Visage du patient imprimé en 3D (A) et nez (B) avec pigmentation externe ajoutée (C). [52]

Des pigments colorés ont été appliqués sur le nez pour une esthétique optimale, puis fixés sur le patient à l'aide d'un adhésif de qualité médicale (S520 ; Factor II Inc., Lakeside, AZ). [52]



Figure 38 présentation de la patiente avec l'épithèse nasale imprimée en 3D. [52]

4. Expérience de L'Irak

Une patiente de 22 ans se présente après une chirurgie d'exérèse d'un carcinome épidermoïde du nez. Abulameer et Tukmachi ont présenté leurs expériences concernant la mise en place d'une épithèse nasale fabriquée à l'aide des techniques de prototypage rapide.

Une tomodensitométrie en spirale contiguë du visage de la patiente a été réalisée à l'aide d'un scanner (Siemens Ag médical solutions ; Allemagne). Les données acquises ont été converties en images DICOM, puis elles ont été converties en fichiers au format SLT à l'aide du logiciel Mimics (Materialise ; Belgique). Le logiciel de sculpture Zbrush (Pixologic ; USA) a été principalement utilisé pour créer le modèle de l'épithèse.

Le découpage et la production de G-code ont été réalisés par le logiciel AutoMaker, suivi de l'impression à l'aide une imprimante 3D (Robox 3D Printer, UK) avec du filament ABS.



Figure 39 le prototype imprimé en 3D. [53]

Le prototype imprimé a été mis dans un moule pour reproduire l’empreinte du nez, un mélange de silicone et des pigments intrinsèques (Factor II ; USA) ont été versé dans le moule, après 24h l’épithèse en silicone est retirée, puis un polissage et une finition sont effectués pour avoir une surface lisse.

La prothèse nasale a ensuite été insérée dans le défaut et retenue par un adhésif médical. [53]



Figure 40 fixation de l’épithèse définitive par un adhésif de qualité médical. [53]

5. Expérience de la Malaisie

Abdul Manaf et al ont exploré la faisabilité d'une imprimante 3D FDM pour la fabrication d'une prothèse nasale.

Ils ont récupéré un modèle de nez correspondant au visage d'un patient à partir d'une bibliothèque nasale numérique. Ensuite, ils ont exporté l'image 3D du modèle vers le logiciel Geomagic DesignX (Système 3D, USA) afin de concevoir le moule. Le découpage a été réalisé à l'aide du logiciel Makerware (Makerbot, USA) pour obtenir le code G.

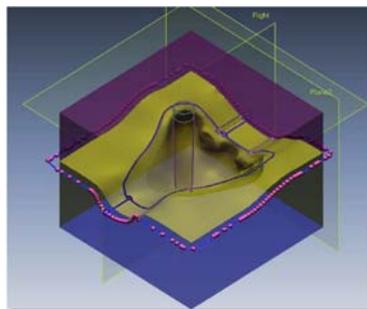


Figure 41 la conception du moule de la prothèse nasale. [54]

Ensuite, l'impression du moule a été rééalisée à l'aide de Makerbot Replicator 2x (Makerbot ; USA) en utilisant le filament ABS. Un mélange de silicone (Factor II ; USA) composé de durcisseur et de résine, a été versé dans la cavité du moule imprimé. Après 48h, la prothèse nasale durcie a été démoulée. [54]



Figure 42 moule nasale imprimé en 3D. [54]



Figure 43 la prothèse Nasale finale. [54]

III. Les épithèses oculo-palpébrales par impression 3D :

1. Expérience de l'Irland

Sherwood et al ont décrit un processus expérimental développé pour créer des épithèses orbitaires spécifiques au patient. Les scans ont été récupérés sous forme de fichiers DICOM, puis importés dans un logiciel 3D slicer. Cette méthode utilise un trancheur 3D pour isoler la zone d'intérêt et convertir cette zone en un fichier STL, C'est le type de fichier utilisé par le logiciel de modélisation 3D tels que Meshmixer qui permet gratuitement la sculpture 3D à l'aide des fonctions et des algorithmes complexes.

À partir de là, le modèle est dupliqué, fournissant deux représentations identiques du visage du patient. L'une est conservée comme l'original tandis que l'autre est modifiée à l'aide de l'outil miroir.

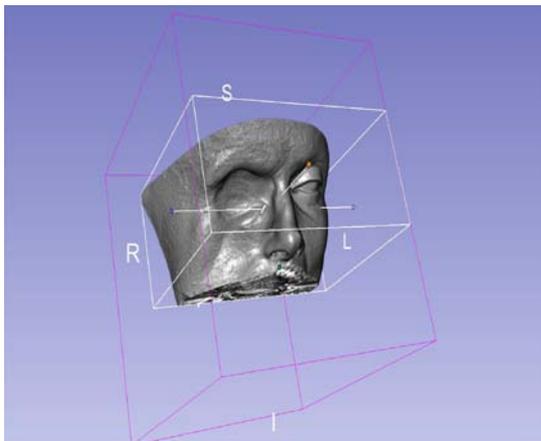


Figure 44 le modèle original avec perte de substance. [55]

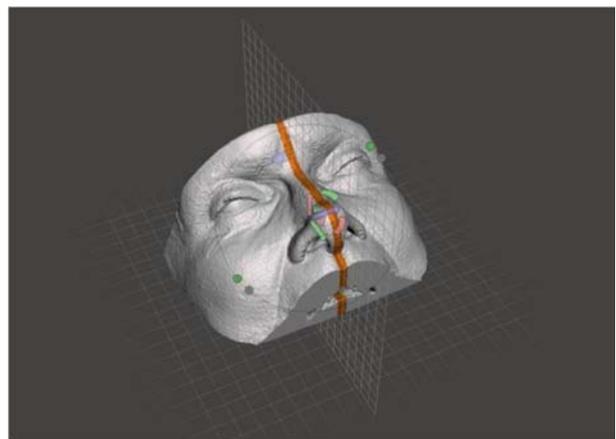


Figure 45 reproduction du visage à l'aide de l'effet miroir [55]

Les deux modèles sont ensuite superposés à l'aide de la fonction d'alignement et une soustraction booléenne qui supprime toutes les zones qui interfèrent, ne laissant que le modèle d'œil qui doit être fabriqué.

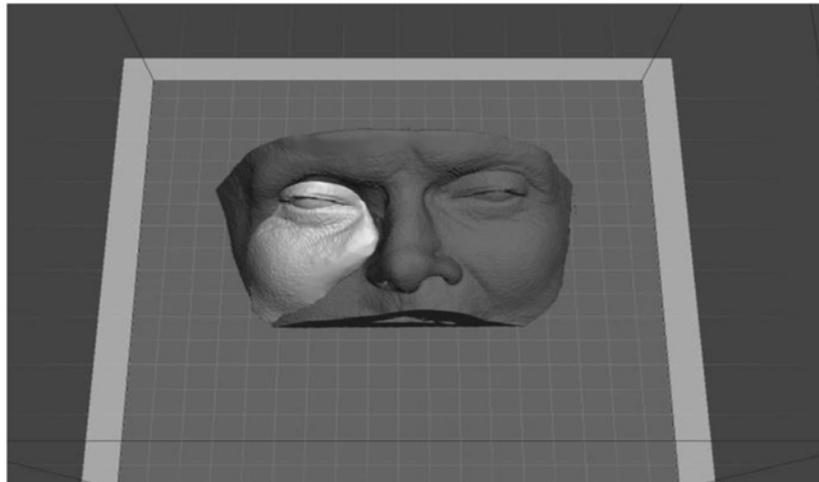


Figure 46 Image montrant la soustraction booléenne. [55]

Ensuite L'ensemble des données a été importé dans une application Cura pour obtenir le G-Code.

Le modèle a été imprimé en PLA à l'aide d'une Imprimante FDM. Après avoir été évalué et jugé, un moule en silicone peut être fabriqué autour du modèle, dans lequel de la cire dentaire est versée pour créer un modèle de cire. Ensuite, une prothèse oculaire est insérée dans le modèle de cire et ajustée à la forme du visage du patient.

Enfin, Un moule en plâtre final peut être réalisé autour de ce modèle de cire. ce moule sera utilisé pour verser une silicone de qualité médicale de couleur appropriée afin de créer le produit final.



Figure 47 image montrant le modèle imprimé, le moulage en cire et l'épithèse finale en silicone. [55]

La fixation par des implants ou un adhésif sont les deux méthodes les plus utilisées. [55]

2. Expérience de l’Egypte

Afin de faire une comparaison entre la méthode traditionnelle et la méthode récente utilisant les techniques de fabrication additive, Hashem et al ont sélectionné douze patients ayant subi une énucléation oculaire, qu'ils ont divisés en deux groupes. Le premier groupe a reçu une prothèse oculaire classique pour chaque patient, tandis que l'autre groupe a reçu une prothèse oculaire fabriquée par impression 3D.

Une empreinte précise de l'orbite du patient est obtenue pour préparer un modèle en cire adapté.

Pour la prothèse oculaire imprimée en 3D, une image CT du moule en cire est prise à l'aide d'une machine Toshiba Aquarium, puis convertie en format tridimensionnel à l'aide du logiciel Materialise (MIMICS). Le modèle 3D est ensuite affiné et converti en un maillage volumique à l'aide du logiciel 3-Matic, un module intégré de MIMICS. Ce modèle est ensuite utilisé pour fabriquer le modèle prototype de l'épithèse oculaire (figure 48) en utilisant une machine de fabrication rapide. Ensuite, un balayage du visage est effectué pour le patient et l'œil sain à l'aide d'un scanner très précis (Bellus3D, Campbell, CA 95008, États-Unis), puis le logiciel MIMICS est utilisé pour concevoir et construire la prothèse oculaire en résine acrylique photopolymérisée, en utilisant l'image numérisée de l'iris sain pour déterminer les couleurs sur le prototype de modèle 3D de l'œil prothétique. [56]

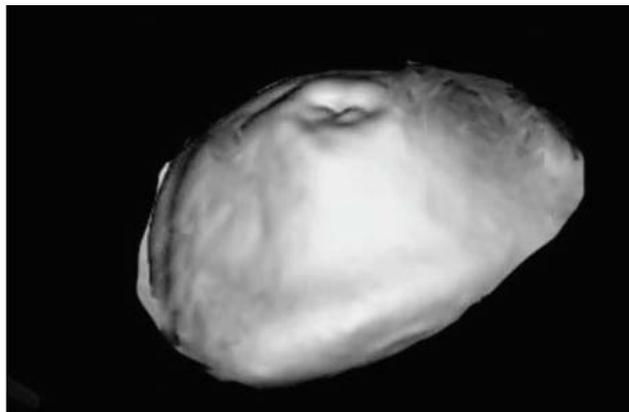


Figure 48 Le modèle prototype de la prothèse oculaire. [56]



Figure 49 (A) Avant et (B) après l'insertion de la prothèse oculaire d'impression 3D rapide dans l'orbite du patient. [56]



*EXPERIENCE DU MAROC ET
DU CHU MOHAMMED VI DE
MARRAKECH CONCERNANT
L'IMPRESSION 3D DANS LE
DOMAINE MEDICAL.*



I. En chirurgie Dentaire :

L'impression 3D est largement utilisée pour la fabrication des prothèses dentaires dans les grandes villes du Maroc.

II. Dans le domaine d'impression des prothèses faciales :

1. Rabat :

Le premier travail national s'est effectué au CHU Ibn Sina de RABAT par l'équipe du service de Chirurgie Maxillo-faciale et Stomatologie de l'hôpital des spécialités de RABAT CHU IBN SINA, A. KHAIRI et M. BOULAADAS ont démontré les applications de cette technologie en acquérant des modèles et en imprimant en 3D des biomodèles pour sept patients atteints de différentes pathologies maxillo-faciales, ainsi que deux pièces anatomiques.

L'acquisition des images a été réalisée par un scanner "Siemens", et la modélisation a été effectuée à l'aide des logiciels « Osirix » et « Netfabb ».

L'impression des biomodèles a été réalisée à l'aide de trois imprimantes 3D différentes : Cube X, Makerbot Replicator 2 et FormLab, en utilisant les matériaux suivants : ABS, PLA, silicone et résine. [57]

Les différents biomodèles imprimés en 3D :

– une mandibule humaine et un os maxillaire proviennent du laboratoire d'anatomie de la faculté de médecine et de pharmacie de Rabat.

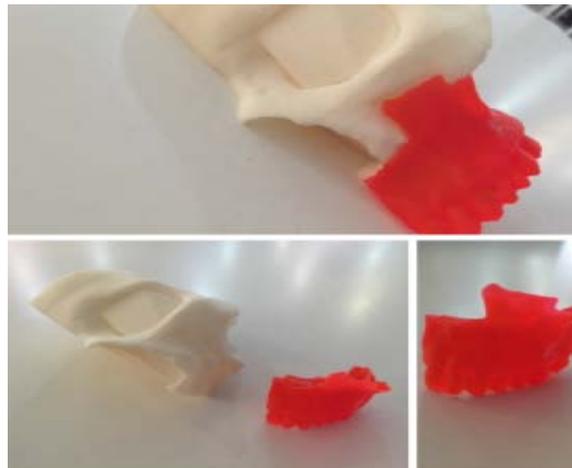


Figure 50 biomodèle de l'os maxillaire imprimé en 3D. [57]

- ❖ Patient 1 : âgé de 18 ans, Ankylose temporo mandibulaire.

✚ Son Biomodèle :



Figure 51 biomodèle ATM (patient 1). [57]

- ❖ Patient 2 : âgé de 30 ans, récurrence d'une Ankylose temporo mandibulaire.

✚

Son biomodèle :



Figure 52 biomodèle ATM (patient 2). [57]

- ❖ Patient 3 : asymétrie faciale suite à une Ankylose temporo mandibulaire.

✚ Son biomodèle :



Figure 53 biomodèle asymétrie faciale (patient 3). [57]

- ❖ Patient 4 : un carcinome épidermoïde du pavillon de l'oreille. Cette prothèse sera utilisée ultérieurement pour répondre à l'impératif esthétique post chirurgie carcinologique.

✚

Son biomodèle :



Figure 54 biomodèle pavillon de l'oreille (patient 4). [57]

❖ Patient 5 : âgé de 30 ans, un carcinome de la cloison nasale.

✚ Son biomodèle :



Figure 55 Biomodèle Nasale Patient 5. [57]

❖ Patient 6 : tumeur de l'os maxillaire.

✚

Son biomodèle :

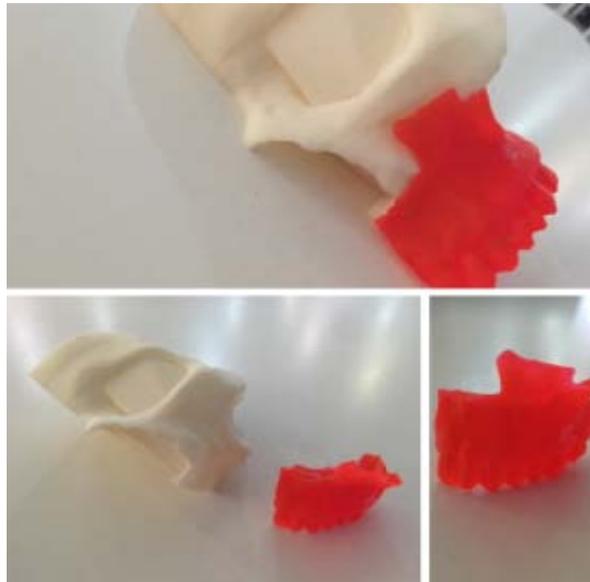


Figure 56 biomodèle du patient 6. [57]

❖ Patient 7 : âgé de 27ans, prise en charge d'une fracture de l'os Malaire.

✚ Son biomodèle :



Figure 57 biomodèle imprimé en 3d sur lequel une grille en titane a été mise e place (patient 7). [57]

Les biomodèles imprimés en 3D ont été utilisés pour la planification des gestes chirurgicaux pour la plupart des patients. Cependant, pour le quatrième patient, son biomodèle

a été utilisé comme modèle pour créer une copie en silicone biocompatible (Figure 54), qui sera fixée en place à l'aide d'une vis située dans la région mastoïdienne.



Figure 58 prothèse siliconée biocompatible. [57]

2. Ben Guerir

L'Université Mohammed 6 polytechnique dispose d'un FabLab, qui est un espace dédié à l'innovation et à la création de prototypes, équipé de machines de fabrication numérique, telles que des imprimantes 3D. Cet espace est accessible aux étudiants, au personnel et aux entreprises locales pour favoriser l'innovation et l'entrepreneuriat.

3. Marrakech-CHU Mohammed VI

Au niveau de notre CHU Mohammed VI, L'équipe de radiologie de l'hôpital Arrazi, par son propre équipement, a participé à la fabrication par impression 3D d'un moule pour la couverture par ciment osseux d'un volet de la voute crâne.

Ainsi que la production par impression 3D de plusieurs modèles d'épithèses faciales, dont une partie d'un pavillon d'oreille qui a été fixée sur un patient.

Une autre expérience a été menée au niveau de notre CHU pour la production d'une maquette de pavillon d'oreille par impression 3D.

Le processus de création de la maquette implique la numérisation en 3D d'une oreille et la création d'un modèle par le biais d'un logiciel de modélisation.

Le moule est imprimé en 3D en utilisant l'ABS comme matière d'impression 3D (Figure 59).



Figure 59 moule imprimé en 3D ABS – CHU Mohammed VI

La maquette est ensuite fabriquée en silicone médical à partir du moule (Figure 60).



Figure 60 Maquette en silicone – CHU Mohammed VI

Au niveau de notre service de chirurgie plastique, nous recevons régulièrement des patients nécessitant une reconstruction souvent complexe d'une partie de leur visage, du pavillon de l'oreille, de la pyramide nasale ou de la région oculo-palpébrale. Dans certaines situations, la chirurgie et l'anesthésie de ces patients sont difficiles. Pour ces raisons, nous avons jugé très utile le lancement de ce projet d'impression 3D afin de fabriquer des épithèses qui pourront être implantées facilement chez le patient, facilitant ainsi son contact social et permettant également une surveillance aisée après la chirurgie carcinologique.

Ci-dessous (Figures 61 ;62 ;63), nous présentons quelques images de patients que nous avons reçus au service et qui attendent toujours le lancement de ce projet pour la mise en place de leurs épithèses.



Figure 61 Une patiente qui présente une perte de substance nasale et palatine, en attente d'une impression 3D de son épithèse- CHU Mohammed VI.



Figure 62 un patient en attente d'une épithèse oculaire - CHU Mohammed VI.



Figure 63 Une patiente avec perte de substance nasale, en attente d'une impression 3D de son épithèse - CHU Mohammed VI.



*PROJET DE MISE EN PLACE
D'UN LABORATOIRE
D'IMPRESSIION
TRIDIMENSIONNELLE AU
SEIN DE NOTRE INSTITUTION*



I. Problématique posée et buts du projet :

Les patients qui présentent une perte de substance faciale font souvent face à de nombreuses difficultés dans leur vie quotidienne. Ils peuvent éprouver une grande souffrance émotionnelle et psychologique en raison de leur apparence altérée, ce qui peut les amener à se sentir stigmatisés et socialement isolés. Cela peut entraîner des problèmes d'estime de soi, de confiance en soi et de dépression.

Les médecins sont confrontés à de nombreuses difficultés lorsqu'ils entreprennent des procédures de reconstruction faciale. Tout d'abord, la perte de substance faciale peut être très variable d'un patient à l'autre, ce qui signifie que chaque cas est unique et nécessite une approche personnalisée.

De plus, la reconstruction faciale chez les patients âgés et multi tarés pose un véritable problème, elle peut être un processus long et fastidieux, impliquant souvent plusieurs interventions chirurgicales et des périodes de récupération prolongées, De plus, les patients âgés peuvent également avoir des difficultés à suivre les recommandations postopératoires, telles que le repos au lit, le nettoyage de la plaie et la prise de médicaments prescrits, ce qui peut augmenter leur risque de développer des complications après la chirurgie

Pour aider ces patients à retrouver leur apparence normale et à retrouver leur confiance en eux, il existe deux principales techniques de fabrication des épithèses faciales : la technique traditionnelle et l'impression 3D.

Les méthodes traditionnelles consistent à prendre une empreinte sur le patient à l'aide d'alginate ou de silicone. À partir de l'empreinte en silicone, un moulage en plâtre et un modèle en cire sont réalisés, qui sont sculptés et retouchés afin d'obtenir la forme appropriée la plus satisfaisante. Puis le modèle en cire est placé dans un moule pour l'injection de silicone et à partir de ce moment, on obtient l'épithèse définitive.

La production d'épithèses faciales de cette manière a apporté un confort et un soutien considérables à de nombreux patients pendant de nombreuses années, leur permettant ainsi de

poursuivre leurs activités quotidiennes normales et d'améliorer leur interaction sociale et sont encore utilisées jusqu'à aujourd'hui. Malgré les avantages que cette méthode peut apporter, son application a montré certaines limites et lacunes. Celles-ci sont principalement liées à la stratégie de traitement, à l'expertise technique requise, au temps, à l'effort, au coût et aux problèmes de rétention [58]. Par ailleurs, il existe des problèmes de durabilité dus à la dégradation des matériaux et à la décoloration après une période de service relativement courte, en raison de l'usure générale et de l'exposition aux rayons ultraviolets. De plus, le nombre élevé de visites nécessite la disponibilité des patients. Pour ces raisons, les prothèses faciales nécessitent un renouvellement et un remplacement périodiques, ce qui est un processus coûteux et chronophage, imposant un fardeau à la fois aux patients et aux épithésistes. [49]

Dans cette optique, la mise en place d'un laboratoire d'impression 3D pour la fabrication d'épithèses faciales, offre de nombreuses solutions aux professionnels de la santé pour surmonter les différents défis rencontrés lors de leur pratique quotidienne.

II. Mise en place du laboratoire d'impression tridimensionnelle.

La mise en place d'un laboratoire d'impression tridimensionnelle n'est pas particulièrement complexe, et il est possible de créer des solutions modulaires et adaptables aux besoins des grands hôpitaux, centres de recherche, petits hôpitaux, cliniques privées ou cabinets privés. Cela permet de choisir l'équipement le mieux adapté à leurs besoins d'impression 3D.

1. Site du laboratoire :

L'implantation d'un laboratoire d'impression tridimensionnelle ne nécessite pas de précautions particulières, à l'exception des dimensions minimales liées à la législation locale dans les environnements de travail. Cependant, une attention particulière doit être portée à la

recirculation de l'air. Pendant le processus d'impression, certains filaments tels que l'ABS et la plupart des résines produisent des fumées qui, bien que peu toxiques, ne doivent pas être inhalées par les opérateurs pendant de longues périodes. Il est donc nécessaire que l'environnement soit équipé d'un système de filtrage et d'aération adapté à la taille des salles, ou encore de hottes de laboratoire spécifiques à placer au-dessus des imprimantes.

Nous avons sélectionné le laboratoire d'anatomie de la faculté de médecine et de pharmacie de Marrakech comme lieu idéal pour installer notre laboratoire d'impression 3D. Cet espace est vaste, bien ventilé, bien éclairé et facilement accessible pour les différents utilisateurs.

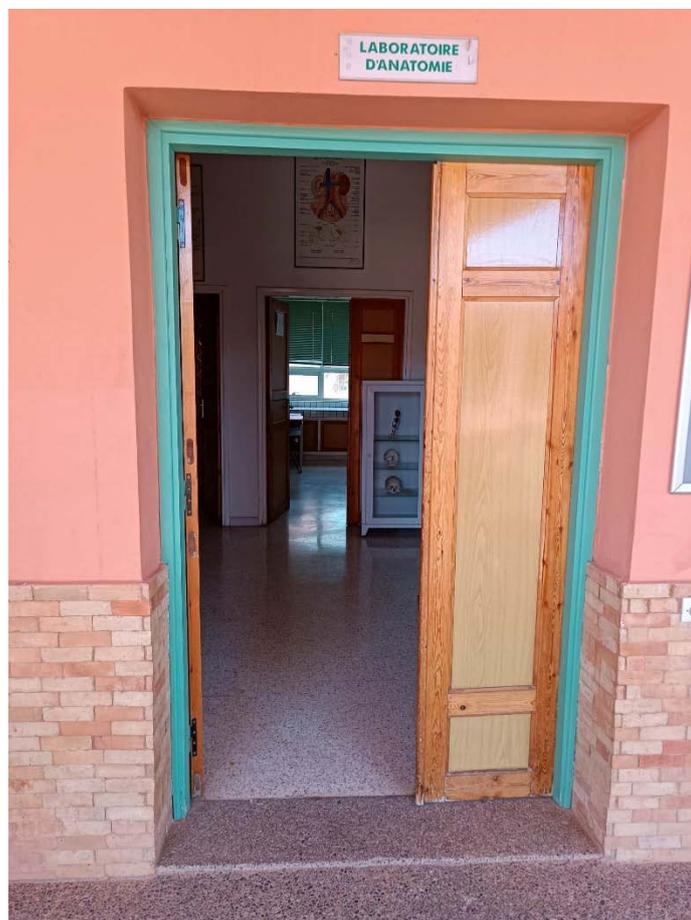


Figure 64 entrée du laboratoire d'anatomie- Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech.



Figure 65 unité d'audiovisuel et d'impression 3D–Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech.

2. équipements nécessaires :

2.1. Ordinateur :

Les ordinateurs portables sont des outils nécessaires pour le bon fonctionnement d'un laboratoire d'impression 3D, car ils permettent le traitement graphique des modèles 3D.

Ceci n'est plus un problème aujourd'hui. Même les ordinateurs portables de dernière génération avec carte graphique dédiée peuvent parfaitement, et dans un délai raisonnable, effectuer les opérations mathématiques pour la création de modèles en trois dimensions et leur manipulation.

✚ Suggestion d'ordinateur:

❖ **PC WARBIRD G12 INTEL i7-12700 16Go Nvidia RTX 3060 12G:**

Capable de prendre en charge les applications les plus exigeantes dans notre projet

Prix selon « Workstation.ma » : 20.463 DH

❖ **PC Gamer WARBIRD Mini Ryzen 5 3600 16Go Nvidia RTX 3050 8G Wi-Fi 6 802.11ax (2.4Gbps) + BT 5.2:**

Prix selon « Workstation.ma » : 14. 582 DH

✚ Suggestion d'écran:

❖ **DELL P2722H 27" FHD IPS**

Prix selon « Workstation.ma » : 3.890 DH

❖ **Omnitrix HP 25x 25" 144 Hz FHD 1ms G-SYNC**

Prix selon « Workstation.ma » : 2.999 DH

✚ Suggestion d'accessoire:

❖ **Logitech MK220 Combo Clavier et Souris sans Fil**

Prix selon « Workstation.ma » : 250 DH

2.2. Scanner tridimensionnel :

Le scanner 3D du visage est un outil important dans la fabrication des épithèses faciales, car il permet de capturer avec précision les dimensions et les caractéristiques du visage du patient. Cette information est ensuite utilisée pour concevoir et fabriquer une épithèse sur mesure qui s'adapte parfaitement au visage du patient.

Il permet d'éviter l'irradiation au scanner.

✚ Suggestion d'un scanner 3D:

Einscan (H) Shining 3D son prix selon « 3dware.ma » : 65.990 DH

2.3. L'imprimantes tridimensionnelles :

a. L'imprimante choisie pour le projet

Elles ont un coût extrêmement variable. Vous pouvez trouver des imprimantes domestiques qui peuvent être achetées pour quelques dizaines de dollars, jusqu'à des imprimantes de qualité industrielle qui dépassent des dizaines de milliers de dollars. Par

conséquent, l'achat de l'équipement nécessaire doit être calibré en fonction du type et de la complexité du travail effectué dans cet établissement de santé spécifique.

Notre Université a opté pour la Gamme Projet® MJP qui existe en 3 versions : Projet 2500/2500 plus et Projet 5600, il s'agit d'une série d'imprimantes 3D professionnelles à impression Multijet (MJP) fabriquée par « 3D SYSTEMS », une entreprise américaine renommée dans ce domaine.



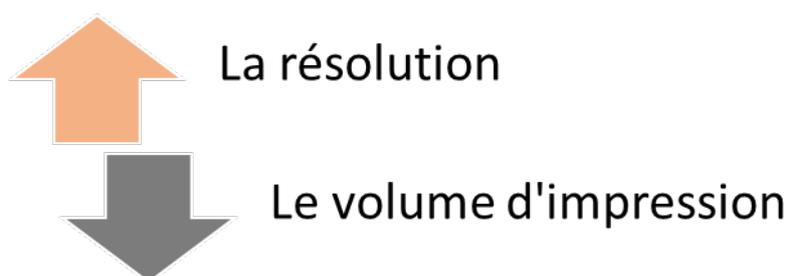
Figure 66 3D SYSTEMS Projet MJP 5600 [59]

Grâce à sa grande vitesse d'impression et à son post traitement simple, elle permet de produire une large variété des pièces imprimées En 3D, destinées à plusieurs domaines d'application.

L'impression 3D se fait selon quatre Modes :

- ❖ Ultra-High Definition - UHD
- ❖ Ultra-High Definition simple - UHDS
- ❖ Xtreme High Definition - XHD
- ❖ Xtreme High Definition Simple - XHDS

Chaque mode implique une résolution et un Volume d'impression spécifiques ; plus la résolution est élevée, plus le Volume d'impression est réduit.



Caractéristique de l'imprimante 3D :

Tableau VII tableau montre les différentes caractéristiques de la Projet MJP 5600 [60]

Modèle	Projet MJP 5600
Marque	3D SYSTEMS
Pays	Etats Unis
Technologie	MJP – Processus Multi Jet
Post traitement	Projet Finisher XL
Matériaux	Gamme de Matériaux Plastiques Visijet®
Format de consommable	Résine
Température d'impression	18 à 28°C
Dimension d'impression	518 x 381 x 300 mm
Volume d'impression	59.21L
Epaisseur min. d'impression	0.01 mm
Précision XY	0.025 mm
Dimension	1700 x 900 x 1620 mm
Poids	935 KG
Bruit	Inférieur à 65dBa
Alimentation électrique	100–127 VCA, 50/60 Hz, Monophasé, 20 A 200–240 VCA, 50 Hz, Monophasé, 10 A
Connectivité	Prêt pour La mise en réseau avec interface Ethernet base 10/100/1000
Système d'exploitation	Windows 7, 8, 8.1, 10

b. Les fournisseurs disponibles au Maroc des différentes imprimantes 3D :

Ce sont des Entreprises spécialisées dans l'impression 3D, et qui offrent des services de livraison des imprimantes 3D et leurs accessoires partout au Maroc, et partagent leurs expertises techniques dans le domaine d'impression 3D.

« I3Dprint.ma » siège : Maarif, Casablanca. Entreprise spécialisée dans l'impression 3D, Le scan 3D, la fabrication des pré-séries et la vente de matériel.

« Factory-3D.net » siège : Rue Al Janaa, Rabat. Entreprise spécialisée sur toute la chaîne d'impression 3D.

« 3Dware.ma » siège : Ain Atig, Témara. Production et vente des imprimantes 3D et filaments.

« TAGin3D » siège : Mohammadia. Production et vente de Filament 3D.

« I3D.ma » siège : Agdal, Rabat. Vente des imprimantes 3D, Filament 3D, Résines 3D.

En générale le prix des imprimantes 3D varie entre 1000Dh à 2 000 000Dh selon les caractéristiques et les critères technique de chaque imprimante et les besoins en impression 3D.

2.4. Accessoires de l'imprimante 3D :

a. Les Filaments :

Tableau VIII prix selon « Modeldesign »

Filaments	PLA	ABS	PC	TPU
Prix en DH	500	500	840	830

b. Les résines :

Tableau IX prix selon « Modeldesign »

Résines (formlabs)	Model Resin	BioMed Amber Resin	BioMed Clear Resin	Castable Wax Resin	Color Kit
Prix en DH	2220.00	3780.00	5280.00	4440.00	2550.00

c. Les filtres :

Mini purificateur d'air ELEGOO avec filtre à carbone activé et adaptateur universel pour imprimante 3D : prix est de 463 DH selon « Ubuy.ma »

2.5. Les logiciels d'impression 3D :

En plus d'avoir besoin de matériel, à choisir en fonction des besoins de chaque institution, un logiciel est également nécessaire pour les différentes étapes de production, allant de l'acquisition d'images à la conception du modèle, et enfin à la préparation tridimensionnelle en vue de l'impression 3D.

Avant de commencer la phase d'impression, nos données, qu'elles soient issues de tomodensitométrie ou d'images IRM, doivent être traitées afin que les parties anatomiques d'intérêt soient transformées en un modèle tridimensionnel prêt à être imprimé.

✚ Les visualiseurs DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) :

Les images sont généralement encodées dans un format universellement connu sous le nom de "DICOM". Ce format est une norme mondiale qui définit les critères de communication, d'affichage, de stockage et d'impression des informations biomédicales.

Le visualiseur DICOM est un logiciel conçu pour lire et interpréter les données DICOM, à travers eux, nous pouvons effectuer la visualisation et la comparaison de nos images médicales, la segmentation des images et la visualisation en trois dimensions.

Tableau X Les visualiseurs DICOM

Les visualiseurs DICOM	Nom des logiciels
Logiciels libres	3D slicer / InVesalus/Osirix Mango /FreeSurfer /ImageJ
Logiciels propriétaires	Analyze /Mimics

✚ Logiciel de modélisation :

La modélisation 3D, en infographie, est le processus de définition d'une forme tridimensionnelle dans un espace virtuel généré sur un ordinateur. Il existe une large

communauté de développeurs indépendants qui ont créé des solutions logicielles de modélisation open-source très performantes avec de larges communautés d'utilisateurs et de développeurs très actifs sur internet.

Tableau XI les différents logiciels de modélisation

Logiciel de modélisation	Entreprise et pays de fabrication	Licence	Prix
Blender	Blender Foundation, Pays-Bas	Gratuit	----
Sculptris	Pixologic,	Gratuit*	----
Rhino	Robert McNeel & Associates, États-Unis	Propriétaire	995 €**
Maya	Autodesk San Rafael, États-Unis	Propriétaire	2226 €/an
meshmixer	Autodesk San Rafael, États-Unis	Gratuit	----

**payant pour bénéficier de plus de fonctionnalités avancées chat complet

Logiciel de découpage :

Un logiciel de découpage en impression 3D (aussi appelé logiciel de tranchage) est un programme qui permet de prendre un modèle 3D et de le découper en couches successives pour que l'imprimante 3D puisse l'imprimer couche par couche. Le logiciel de découpage génère également un code appelé G-code, qui est un langage de programmation spécifique à l'impression 3D. Le G-code est un ensemble d'instructions qui indique à l'imprimante 3D comment se déplacer, comment chauffer la buse, quelle quantité de filament extruder et à quelle vitesse pour réaliser l'objet en 3D.

Parmi les logiciels libres, les plus utilisés :

- Cura pour les imprimantes à dépôt de filament
- Chitobox ou Litchi (Mango3D, Belgique) pour les imprimantes à résine.

2.6. bacs en plastiques et l'alcool isopropylique :

Les bacs sont nécessaires pour contenir les solvants des résines, et l'alcool est utilisé pour immerger les impressions en résine afin de les laver.

IPA Alcool Isopropylique 99,9% 5L : le prix est de 239Dh selon « 3dWare.ma »

Bac en plastique prix 70Dh/unité selon « solostocks.ma »

2.7. système de durcissement : Lampe LED ultra-violet (UV) :

Après la phase de lavage, les impressions en résine doivent être séchées avec du papier absorbant puis subir le processus de durcissement. Sur le marché, on trouve des chambres de durcissement préassemblées qui utilisent une lampe LED UV et une plaque rotative motorisée où le modèle peut être placé pour assurer, avec rotation, une irradiation uniforme sur toute la surface.

Pour notre projet d'impression, toutes les lampes UV conviennent indifféremment.

Exemple : Boîte de durcissement UV en résine SUNLU : prix au Maroc 734DH selon Ubuy.ma

2.8. Autres matériels :

a. L'adhésif :

Il est important de noter que l'adhésif utilisé pour les épithèses faciales doit être spécialement conçu pour la peau, hypoallergénique, sans danger pour les yeux et les muqueuses, et ne doit pas contenir de substances irritantes.

Tableau XII le prix des adhésifs (source : Ubuy.ma)

Adhésif	Prix en dirham
Colle à épithèses Villanova	500.00*
Vita Vitacoll	400.00*
Novafix	48

*disponible sur commande

b. Le silicone

Tableau XIII le prix de silicone (source : Ubuy.ma)

Silicone	Prix en Dirham
Caoutchouc Platinum Silicone Polytek Platsil Gel-10	1073.00
Polytek PlatSil Gel-00 Platinum Silicone Rubber	1594.00
Polytek PlatSil Gel-25 Platinum Silicone Rubber	5046.00

c. Peinture acrylique, pinceaux et acétone :

Tableau XIV Peinture acrylique (source : Ubuy.ma)

Peinture acrylique	Prix en Dirham
Liquitex BASICS, 48 x 22 ml	889
Caliart avec 12 pinceaux, 24 couleurs	589
Nouveau style Professionnel Utilisation Pure 100% Acétone	732

d. Verrier de Laboratoire

Ensemble de verrerie pour laboratoire (3 béchers ; 3 flacons Erlenmeyer ; 3 cylindres gradués de classe A) Eisco Labs : prix selon « Ubuy.ma » est de 624 DH.

3. Les ressources humaines nécessaires pour le projet :

Nous avons prévu d'envoyer des techniciens de laboratoire d'anatomie pour suivre une formation dans des centres spécialisés en impression 3D dans le domaine médical.

Il est aussi important de collaborer avec un épithésiste pour finaliser la maquette produite.

III. Circuit des patients et étapes de production de l'épithèse :

Afin de fabriquer des épithèses faciales, Chaque patient doit passer par certaines étapes :

1. La première visite :

✚ **Lieu : Salle de consultation.**

Étape importante qui conditionne la qualité du travail, elle se déroule généralement de la même manière que les consultations usuelles :

- ❖ Identité du patient : nom et prénom, âge, situation familiale et sociale, numéro de téléphone ou d'autres contacts etc...
- ❖ Les antécédents.
- ❖ Identifier La cause de la perte de substance.
- ❖ Evaluer l'étendue et les caractéristiques de la zone de perte de substance.
- ❖ Evaluer la forme et la taille de l'épithèse requise.
- ❖ Récolter le rapport de la chirurgie, ainsi que les photos et les scans du patient avant et après la chirurgie.

Lors de cette consultation, il est nécessaire d'expliquer au patient comment se déroulera l'impression de l'épithèse, ainsi que les différentes options de rétention qui sont disponibles. Si nécessaire, il pourrait être suggéré de programmer une opération pour la pose d'un implant d'ancrage osseux.

2. Acquisition des images de Tomodensitométrie et Modélisation 3D :

2.1. Acquisition des Images par un TDM ou un scanner 3D :

✚ **Lieu : TDM – salle de scanner (service de radiologie CHU Mohammed VI).**

Scanner 3d – Laboratoire d'anatomie.

Tout d'abord, le patient doit subir une TDM ou un scanner 3D pour obtenir des images en trois dimensions de sa tête et de son visage.

2.2. Traitement des données de l'imagerie :

✚ **Lieu : laboratoire d'impression 3D.**

Les images 3D sont alors importées dans un logiciel de modélisation 3D. ce logiciel est utilisé pour convertir les images en un modèle 3D utilisable. Cela peut inclure la suppression des parties non pertinentes de l'image, la correction de l'orientation et la réduction de la taille du fichier pour faciliter la manipulation.

2.3. Modélisation 3D :

✚ **Lieu : Laboratoire d'impression 3D.**

Le modèle 3D est alors affiné à l'aide d'un logiciel de modélisation 3D. Les contours du visage et de la tête du patient sont ajustés pour correspondre à la forme et à la taille de l'épithèse faciale. Des détails supplémentaires, tels que la texture de la peau et les contours des yeux, peuvent être ajoutés pour rendre le modèle plus réaliste.

3. Impression 3D :

✚ **Lieu : Laboratoire d'impression 3D.**

Enfin, Le modèle numérique est importé dans un logiciel d'impression 3D. Un matériau biocompatible approprié est choisi pour l'impression, L'imprimante 3D crée alors une épithèse en utilisant des instructions précises provenant du logiciel d'impression.

4. Finition de l'épithèse :

✚ **Lieu : salle de l'épithésiste au laboratoire d'anatomie.**

Après l'impression, l'épithèse est soumise à un processus de finition qui consiste à retirer les supports d'impression, lisser les bords et les surfaces, et effectuer des ajustements mineurs pour s'assurer qu'elle s'adapte parfaitement au patient.

5. visite Finale et fixation de l'épithèse :

✚ Lieu : Salle de Consultation.

L'épithèse est ensuite installée sur le patient en utilisant des adhésifs médicaux et des attaches de fixation, et les ajustements finaux sont apportés pour s'assurer qu'elle est confortable et esthétiquement satisfaisante.

Des suivis réguliers sont effectués pour s'assurer que l'épithèse continue de fonctionner correctement et qu'elle ne nécessite pas de réparations ou de remplacements.

6. Montant a réglé par le patient :

Le coût total d'une épithèse faciale fabriquée par impression 3D peut varier en fonction de nombreux facteurs, tels que la complexité de la conception, la quantité de résine nécessaire, le coût de l'impression 3D, le temps de travail de l'équipe médicale, les frais du scanner, et les frais de finition et de post-traitement.

Cependant pour donner une estimation approximative, le coût total d'une épithèse faciale imprimée en 3D peut varier entre 1000 et 3000 Dirhams, selon les facteurs mentionnés ci-dessus. Ce coût peut être plus élevé pour les épithèses faciales plus complexes et plus grandes.

IV. Le coût du projet :

Le tableau ci-dessous (tableau 13) présente les équipements nécessaires pour le fonctionnement du laboratoire ainsi que leurs coûts correspondants :

Tableau XV Le prix des divers équipements nécessaires pour le laboratoire d'impression 3D.

Équipement du Laboratoire	Nom du produit	Prix en Dirham (Dh)
Imprimante 3D	Projet MJP 5600	1.800.000 Dh
	Projet MJP 2500/2500 plus	1.000.000 Dh
Scanner 3D	Scanner 3D Hybride Shining 3D	66.000 Dh
Ordinateur	Pc WARBRID G12 i7	20.500 Dh
L'Écran Pc	DELL P2772H 27'' FHD ips	3.890 Dh
Clavier et souris	Logitech MK220	250 Dh
Le système de durcissement	Lampe LED ultra-violet	734 Dh
Verrerie de Laboratoire	-----	624 Dh

En tout, le coût de la mise en place d'un laboratoire d'impression 3D varie en fonction de l'imprimante 3D choisie. Avec la Projet MJP 5600, le coût est de 1 900 000 Dh, tandis qu'avec la Projet MJP 2500/2500 Plus, il est de 1 100 000 Dh.

Il est important de noter que les coûts initiaux d'investissement peuvent être élevés, mais les laboratoires d'impression 3D peuvent offrir des avantages à long terme tels que la réduction des coûts de production, l'amélioration de la qualité et de la précision des produits, la réduction des temps de production et la possibilité de développer de nouveaux produits et services.

Le coût des consommables pour un laboratoire d'impression 3D dépend de plusieurs facteurs et peut varier considérablement en fonction des besoins spécifiques du patient.

Tableau XVI le prix des consommables.

Les consommables	Nom du produit	Prix en Dirham (Dh)
les résines	<ul style="list-style-type: none"> ❖ VisiJet® CR-CL – Transparent / Rigide ❖ VisiJet® CR-WT – Blanc / caoutchouc ❖ VisiJet® CR-BK – Noire Opaque / Rigide ❖ VisiJet® CE-BK – Noire Opaque / Caoutchouc 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ 6.000 DH ❖ 6.000 Dh ❖ 6.000 Dh ❖ 6.000 Dh
Le logiciel d'impression 3D	3D Sprint*	----- -
L'alcool IPA	Alcool isopropylique 99,9% 5L	239 Dh
L'adhésif	Colle Villanova	500 DH
Le Silicone	<ul style="list-style-type: none"> ❖ PolytekPlatsil Gel-00 ❖ Polytekplatsil Gel-10 ❖ Polytekplatsil Gel-25 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ 1.594 Dh ❖ 1.073 Dh ❖ 5.046 Dh
Kit de Coloration	Liquitex BASICS, 48 x 22 ml	889 Dh

*Logiciel est inclus lors de l'achat de l'imprimante Projet MJP 5600

Le patient doit déboursier une partie des frais liés aux matériaux spécifiques requis pour la fabrication de son produit personnalisé, tels que la résine, l'adhésif, le silicone, et autres.

Il est important de noter que ces coûts ne prennent pas en compte les autres coûts associés à l'impression 3D, tels que les coûts de maintenance de l'imprimante, les coûts énergétiques, les coûts de modélisation 3D, etc.

V. Autres retombées et objectifs du projet

En dehors de la fabrication des épithèses, notre projet a aussi pour objectifs :

- ❖ Répondre au besoin de la Chirurgie : Fabrication des épithèses, des prothèses et endoprothèses. Ainsi que l'impression des matériels du blocs opératoire.

- ❖ But pédagogique : l'apprentissage de l'anatomie normale et pathologique par la fabrication des maquettes.
- ❖ La simulation pour l'apprentissage des techniques opératoires.
- ❖ Apports en pratique clinique : La planification pré-chirurgicale et la chirurgie guidée.

VI. Autres détails à respecter :

Pour le bon fonctionnement du laboratoire, il doit respecter certaines spécifications de biosécurités :

- ❖ Des Considérations relatives à l'alimentation : Une mauvaise qualité de l'alimentation peut entraîner un dysfonctionnement de l'appareil, une panne prématurée ou une incapacité à fonctionner ; d'où la nécessité de consulter un ingénieur électricien.
- ❖ Sécurité procédurale : Une politique adéquate des prises de courant du laboratoire dédiées aux imprimantes est nécessaire car le personnel non familier peut brancher des composants non critiques dans le circuit de l'onduleur.
- ❖ Isolation des vibrations de l'imprimante : elle doit être installée sur une surface flottante ou un dispositif de montage. Car les vibrations peuvent avoir des effets délétères lors du processus d'impression.
- ❖ Exigences relatives à la ventilation : Une conception appropriée des systèmes CVC (Chauffage, ventilation, climatisation) est essentielle pour le contrôle environnemental et la surveillance active des conditions de la salle d'impression. [61]



CONCLUSION



L'impression 3D est une technologie prometteuse pour la fabrication d'épithèses. Les avantages de cette technique sont nombreux, notamment la personnalisation précise et la rapidité de production. L'utilisation de l'impression 3D permet également d'obtenir des épithèses plus légères et plus confortables pour les patients.

Cependant, certaines limitations doivent être prises en compte lors de l'utilisation de cette technologie, telles que la qualité de surface et la résistance mécanique de l'épithèse imprimée en 3D. Des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer la durabilité à long terme et la résistance aux conditions environnementales des épithèses fabriquées par impression 3D.

Le laboratoire d'impression 3D offrira un espace de collaboration et de créativité pour les professionnels et les étudiants intéressés par les technologies innovantes. Ce projet de mise en place d'un laboratoire d'impression 3D est donc un excellent moyen de favoriser l'innovation et de répondre aux besoins croissants des professionnels et des étudiants dans divers secteurs.

En outre, le coût des imprimantes 3D et des matériaux peut être un facteur limitant pour l'utilisation généralisée de cette technologie. Néanmoins, l'impression 3D offre de grandes perspectives pour l'avenir de la fabrication d'épithèses, en particulier en raison de la personnalisation précise et de la réduction des délais de production.

En somme, l'impression 3D offre de grandes opportunités pour la fabrication d'épithèses, mais elle nécessite encore des études supplémentaires pour évaluer pleinement son potentiel et pour surmonter certaines limitations techniques et économiques.



Résumé:

Cette thèse a pour objectif d'étudier la faisabilité et l'efficacité de l'impression 3D pour la fabrication d'épithèses faciales. La technique de l'impression 3D offre la possibilité de personnaliser les épithèses faciales pour chaque patient, en fonction de ses besoins spécifiques. Cette approche permet également de réduire les délais de production et les coûts.

La thèse examine les différents matériaux utilisés pour la fabrication d'épithèses faciales par impression 3D, ainsi que les méthodes de conception et de production. Les avantages et les limites de cette technique sont également abordés.

Le but de ce travail est d'établir un support au débutant pour se lancer dans le domaine d'impression 3D basé sur les expériences récentes et pertinentes des autres pays, ainsi que faire une brève présentation du projet de mise en place d'un Laboratoire d'impression 3D, en espérant qu'il apportera une réelle valeur ajoutée à notre faculté de Médecine.

En conclusion, cette thèse démontre que l'impression 3D est une technologie prometteuse pour la fabrication d'épithèses faciales. Les avantages offerts par cette technique comprennent la personnalisation précise, la rapidité de production et la réduction des coûts. Cependant, il est important de prendre en compte les limitations techniques et cliniques pour assurer la qualité et l'efficacité des épithèses faciales imprimées en 3D.

Abstract :

The objective of this thesis is to study the feasibility and effectiveness of 3D printing for the manufacturing of facial prostheses. 3D printing technology offers the possibility of customizing facial prostheses for each patient, according to their specific needs. This approach also allows for reduced production time and costs.

The thesis examines the different materials used for the manufacturing of facial prostheses by 3D printing, as well as the methods of design and production. The advantages and limitations of this technique are also discussed.

The aim of this work is to establish a beginner's guide for entering the field of 3D printing based on recent and relevant experiences from other countries, as well as to provide a brief presentation of the project for setting up a 3D Printing Laboratory, hoping that it will bring real added value to our Faculty of Medicine.

In conclusion, this thesis demonstrates that 3D printing is a promising technology for the manufacturing of facial prostheses. The advantages offered by this technique include precise customization, fast production, and cost reduction. However, it is important to consider technical and clinical limitations to ensure the quality and effectiveness of 3D-printed facial prostheses.

ملخص

هدف هذه الأطروحة هو دراسة جدوى وفعالية الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة الأطراف الوجهية. توفر تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد إمكانية تخصيص الأطراف الوجهية لكل مريض بناءً على احتياجاته الخاصة. كما تسمح هذه النهج بتقليل أوقات الإنتاج والتكاليف.

تتناول الأطروحة المواد المختلفة المستخدمة في صناعة الأطراف الوجهية بواسطة الطباعة ثلاثية الأبعاد، بالإضافة إلى طرق التصميم والإنتاج. كما يتم مناقشة مزايا وحدود هذه التقنية.

تهدف هذه الأطروحة إلى توفير دعم للمبتدئين في مجال الطباعة ثلاثية الأبعاد بناءً على الخبرات الحديثة والملائمة لبلدان أخرى، بالإضافة إلى عرض موجز لمشروع إنشاء مختبر طباعة ثلاثية الأبعاد، على أمل أن يضيف قيمة حقيقية لكليتنا للطب.

وفي الخالص، تثبت هذه الأطروحة أن الطباعة ثلاثية الأبعاد هي تقنية واعدة لصناعة الأطراف الوجهية. ومن بين المزايا التي توفرها هذه التقنية: التخصيص الدقيق، وسرعة الإنتاج، وتقليل التكاليف. ولكن يجب مراعاة الحدود التقنية والسريية لضمان جودة وفعالية الأطراف الوجهية التي تم طباعتها بواسطة تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد



BIBLIOGRAPHIE



1. **Fernanda Pereira de Caxias, Daniela Micheline dos Santos, Lisiane Cristina Bannwart, Clovis Lamartine de Moraes Melo Neto, and Marcelo Coelho Goiato.**
« Classification, History, and Future Prospects of Maxillofacial Prosthesis », *International Journal of Dentistry* 2019 (18 juillet 2019): 1 7.
2. **Florent Destruhaut, Jean–Michel Caire, Antoine Dubuc et al.**
« Evolution of Facial Prosthetics: Conceptual History and Biotechnological Perspectives », *International Journal of Maxillofacial Prosthetics* 4, no 1 (1 avril 2021): 2 8.
3. **Florent Destruhaut, Julien Delrieu, Xavier Dusseau, Antonin Hennequin, Éric Toulouse, Philippe Pomar.**
« Approche historique et épistémologique de la prothèse maxillo–faciale », 2018, 12.
4. **Tarun Vyas, Prabhakar Gupta, Sachin Kumar, Rajat Gupta, Tanu Gupta, Harkanwal Preet Singh.**
« Cleft of Lip and Palate: A Review », *Journal of Family Medicine and Primary Care* 9, no 6 (juin 2020): 2621.
5. **L Burglen et, V. Soupre, P.A.Dine, M. Gonzalès, M.–P. Vazquez.**
« Dysplasies oto–mandibulaires : génétique et nomenclature des formes syndromiques », *Annales de Chirurgie Plastique Esthétique* 46, no 5 (janvier 2001): 400 409.
6. **Snježana Kaštelan, Gverović Antunica, Beketić Orešković, Salopek Rabatić et al.**
« Conjunctival Melanoma – Epidemiological Trends and Features », *Pathology & Oncology Research* 24, no 4 (octobre 2018): 787 96.
7. **Enrique Garcia–Valenzuela, G. Baker Hubbard, et Thomas M. Aaberg.**
« Enuclation, evisceration and exenteration », in *Medical Management of the Surgical Patient: A Textbook of Perioperative Medicine*, éd. par H. Kenneth Walker et al., 4e éd. (Cambridge: Cambridge University Press, 2006), 710 12.
8. **Ruth et Sheard.**
Understanding Skin Cancer: A Guide for People with Cancer, Their Families and Friends (Sydney, NSW: Cancer Council Australia, 2021).
9. **« Skin Cancer – Symptoms and Causes »**
Mayo Clinic, consulté le 31 octobre 2022, <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/skin-cancer/symptoms-causes/syc-20377605>.

10. **Evren Erkul, Krishna G Patel, et Terry Day.**
« Surgical Planning for Resection and Reconstruction of Facial Cutaneous Malignancies », International Journal of Head and Neck Surgery 7, no 3 (septembre 2016): 149-64.
11. **Ahmed Abdel Khalek Abdel Razek.**
« Imaging Appearance of Bone Tumors of the Maxillofacial Region », World Journal of Radiology 3, no 5 (2011): 125.
12. **Boutault F, Diakite C, Cavallier Z, Prevost A, Lauwers F et Lopez R.**
Reconstruction chirurgicale des pertes de substance des maxillaires. EMC – Chirurgie orale et maxillo-faciale 2018;13(1):1-20 [Article 22-087-E-10].
13. **G.R.Holt et J.A. Brennan**
« Resident Manual of Trauma to the Face, Head, and Neck », First edition, Academy of Otolaryngology—Head and Neck Surgery Foundation, (2012).
14. **Elodie PHILIPPE, Pascal PICHON, Catherine SGRO**
« IATROGENIE MEDICAMENTEUSE DANS L'OSTEONECROSE DE LA MACHOIRE (ONM) », s. d.
15. **T. Ladner, M. Linker, et J. Gitani,**
« Réparation fonctionnelle d'une nécrose palatine chez une patiente cocaïnomanne », Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale 105, no 5 (novembre 2004): 291-93, [https://doi.org/10.1016/S0035-1768\(04\)72329-3](https://doi.org/10.1016/S0035-1768(04)72329-3).
16. **Ioanna Polymenidi, Sebastian Carballo, Andrea Trombetti.**
« Risque d'ostéonécrose des maxillaires avec l'utilisation des bisphosphonates », Revue Médicale Suisse 2014 : 446.
17. **Olivier Lamy, Elena Gonzalez-Rodriguez, Delphine Stoll, Bérengère Aubry-Rozier**
« Déno-sumab en routine clinique : précautions à prendre avant, pendant et après », Revue Médicale Suisse 2017 : doi : 10.53738/REVMED.2017.13.559.0863.
18. **Dennis T. Lanigan, Juliana H. Hey, et Roger A. West,**
« Aseptic Necrosis Following Maxillary Osteotomies: Report of 36 Cases », Journal of Oral and Maxillofacial Surgery 48, no 2 (février 1990): 142-56.
19. **Valeria Dell'Era et al.,**
« Maxillo-Mandibular Osteoradionecrosis Following C-Ion Radiotherapy: Clinical Notes and Review of Literature », European Journal of Inflammation 18 (janvier 2020): 205873922093456.

20. **Saeed Nezafati, Mohammad Ali Ghavimi, et Amir Saeed Yavari,**
« Localized Osteomyelitis of the Mandible Secondary to Dental Treatment: Report of a Case » 3, no 2 (2009): 3.
21. **inv Michael T. Shannon, Allen Sclaroff, et Stephen J. Colm,**
« Invasive Aspergillosis of the Maxilla in an Immunocompromised Patient », Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology 70, no 4 (octobre 1990): 425 27,
[https://doi.org/10.1016/0030-4220\(90\)90202-4](https://doi.org/10.1016/0030-4220(90)90202-4).
22. **« Epithèses hemifaciales – Laboratoire Gauyau »,**
Consulté le 18 avril 2023, <http://www.epithese.fr/epithese-hemifaciale.php>.
23. **« Épithèse ou prothèse faciale. | PeauAime esthéticienne, socio-esthéticienne »,**
Consulté le 18 avril 2023, <http://peauaime.unblog.fr/2014/06/27/epithese-ou-prothese-faciale/>.
24. **« Épithèse auriculaire – Tous les fabricants de matériel médical »,**
Consulté le 18 avril 2023, <https://www.medicalexpo.fr/fabricant-medical/epithese-auriculaire-49017.html>.
25. **Stephen M. Parel,**
« Diminishing Dependence on Adhesives for Retention of Facial Prostheses », The Journal of Prosthetic Dentistry 43, no 5 (mai 1980): 552 60, [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(80\)90330-3](https://doi.org/10.1016/0022-3913(80)90330-3).
26. **Aa Diken Türksayar, Sa Saglam, et Ac Bulut,**
« Retention Systems Used in Maxillofacial Prostheses: A Review », Nigerian Journal of Clinical Practice 22, no 12 (2019): 1629, https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_92_19.
27. **« Les moyens de fixation – Epithèses et prothèses maxillo-faciales »,**
Consulté le 18 avril 2023, <https://www.epitheses-fs.com/les-%C3%A9pith%C3%A8ses/les-moyens-de-fixation/>.
28. **Buchi Bhanu Prakash,**
« 3D Printing and Its Applications », International Journal of Science and Research (IJSR), 5, no 3 (2013): 4.
29. **« The History of 3D Printing: From the 80s to Today »,**
Sculpteo (blog), consulté le 20 novembre 2022, <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/>.

30. **Andreas Gebhardt et Miranda Fateri,**
« 3D Printing and Its Applications », RTejournal, 2013,
<https://www.researchgate.net/publication/267433899>
31. **Mehmet Sakin et Yusuf Caner Kiroglu,**
« 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM », Energy Procedia 134 (octobre 2017): 702 11,
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.562>.
32. **Nicole Segaran et al.,**
« Application of 3D Printing in Preoperative Planning », Journal of Clinical Medicine 10, no 5 (26 février 2021): 917.
33. **Luigi Di Rosa,**
3D Printing in Plastic Reconstructive and Aesthetic Surgery, Springer, 2022,
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-10558-6>
34. **Hava 3D Group**
« Guide Ultime des matériaux d'impression 3D FDM ».
35. « Types of 3D Printing Technology Explained », Consulté le 27 octobre 2022, <https://www.protolabs.com/resources/blog/types-of-3d-printing/>.
36. **Fredrick Madaraka Mwema et Esther Titilayo Akinlabi,**
« Basics of Fused Deposition Modelling (FDM) », in Fused Deposition Modeling, SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology (Cham: Springer International Publishing, 2020), 1 15.
37. **Jigang Huang, Qin Qin, et Jie Wang,**
« A Review of Stereolithography: Processes and Systems », Processes 8, no 9 (11 septembre 2020): 1138.
38. **Yanis A. Gueche et al.,**
« Selective Laser Sintering (SLS), a New Chapter in the Production of Solid Oral Forms (SOFs) by 3D Printing », Pharmaceutics 13, no 8 (6 août 2021): 1212,
<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13081212>.

39. « **Digital Light Processins (DLP) : Impression 3D par Photolymérisation** », Sculpteo (blog), consulté le 27 octobre 2022, <https://www.sculpteo.com/fr/glossaire/dlp-definition-fr/>.
40. « **MJF – Multi Jet Fusion** », Dassault Systèmes, 14 décembre 2021, <https://www.3ds.com/make/service/3d-printing-service/mjf-multi-jet-fusion>.
41. **Heather J. O'Connor, Andrew N. Dickson, et Denis P. Dowling**, « Evaluation of the Mechanical Performance of Polymer Parts Fabricated Using a Production Scale Multi Jet Fusion Printing Process », *Additive Manufacturing* 22 (août 2018): 381–87, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.05.035>.
42. « **Polyjet 3D Printing: Technology Overview** », 3Faktur (blog), consulté le 27 octobre 2022, <https://3faktur.com/en/3d-printing-materials-technologies/polyjet-3d-printing-technology-overview/>.
43. **Guillaume Marion**, « L'impression 3D par fusion de faisceau d'électrons (EBM), on vous explique tout ! », 3Dnatives, 6 octobre 2019, <https://www.3dnatives.com/impression-3d-faisceau-electrons/>.
44. « **Anatomie d'une imprimante 3D — HATLAB** », Consulté le 23 octobre 2022, https://wikifab.hatlab.fr/Anatomie_d%27une_imprimante_3D.
45. **Eko Prianto, Herlambang Sigit Pramono, et Yuchofif**, « IoT-Based 3D Printer Development for Student Competence Improvement », *Journal of Physics: Conference Series* 2111, no 1 (1 novembre 2021): 012002.
46. **Elisa Mussi et al.**, « Ear Reconstruction Simulation: From Handcrafting to 3D Printing », *Bioengineering* 6, no 1 (5 février 2019): 14.
47. **Byoungjun Jeon et al.**, « Fabrication of three-dimensional scan-to-print ear model for microtia reconstruction », *Journal of Surgical Research* 206, no 2 (décembre 2016): 490–97.

48. **Rena L. J. Cruz et al.,**
« An advanced prosthetic manufacturing framework for economic personalised ear prostheses », *Scientific Reports* 10, no 1 (10 juillet 2020): 11453.
49. **Mazher I. Mohammed et al.,**
« Augmented patient-specific facial prosthesis production using medical imaging modelling and 3D printing technologies for improved patient outcomes », *Virtual and Physical Prototyping* 13, no 3 (3 juillet 2018): 164 76.
50. **Katarzyna Egelhoff et al.,**
« Implementation of Cone Beam Computed Tomography, Digital Sculpting and Three-Dimensional Printing in Facial Epithesis—A Technical Note », *Applied Sciences* 12, no 23 (23 novembre 2022): 11974.
51. **Alexey Unkovskiy et al.,**
« Direct 3D printing of silicone facial prostheses: A preliminary experience in digital workflow », *The Journal of Prosthetic Dentistry* 120, no 2 (août 2018): 303 8.
52. **Amjad Nuseir et al.,**
« Direct 3D Printing of Flexible Nasal Prosthesis: Optimized Digital Workflow from Scan to Fit: 3D Printed Flexible Nose », *Journal of Prosthodontics* 28, no 1 (janvier 2019): 10 14.
53. **Humam M Abdulameer et Mustafa S Tukmachi,**
« Fabrication de prothèses nasales à l'aide du prototypage rapide et de l'impression 3D (une étude de cas) », *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6 (2017), doi:10.15680/IJRSET.2016.0608003
54. **Abdul Manaf Abdullah et al.,**
« Fabrication of Nasal Prosthesis Utilising an Affordable 3D Printer », *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 100, no 5 8 (février 2019): 1907 12.
55. **Ross G. Sherwood et al.,**
« The use of 3D printing technology in the creation of patient-specific facial prostheses », *Irish Journal of Medical Science (1971 -)* 189, no 4 (novembre 2020): 1215 21.
56. **ahmed hashem, Magdy Badway, et Mohamed Helal,**
« Evaluation of Ocular Prosthesis Fabricated by Rapid 3-D Printing Technology », *Al-Azhar Journal of Dental Science* 25, no 1 (1 janvier 2022): 7 14.

57. **Mr.Achraf Khairi**
« Planification chirurgicale 3D assistée : Expérience de département de chirurgie maxillo-faciale hôpital des spécialités CHU ibn Sina », thèse de Faculté de médecine et pharmacie de Rabat, (2016).
58. **Alessandra Leonardi et al.,**
« Maxillofacial Prosthetic Rehabilitation Using Extraoral Implants », Journal of Craniofacial Surgery 19, no 2 (mars 2008): 398 405.
59. **« Projet MJP 5600 »,**
3D Systems, 6 mai 2017, <https://fr.3dsystems.com/3d-printers/projet-mjp-5600>.
60. **« Imprimantes de Plastique Multijet »,**
3D SYSTEMS Additive Manufacturing Solutions, 2020.
61. **Henry W. Sanicola et al.,**
« Guidelines for Establishing a 3-D Printing Biofabrication Laboratory », Biotechnology Advances 45 (décembre 2020): 107652.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

رُوِيَ
عَنِ
الطَّبِيبِ
عَلِيِّ بْنِ أَبِي طَالِبٍ

أَقْسَمُ بِاللَّهِ الْعَظِيمِ
أَنْ أَرَأَيْتَ اللَّهُ فِي مَقْعَتِي
وَأَنْ أَصُونَ حَيَاةَ الْإِنْسَانِ فِي كَافَّةِ أَحْوَالِهَا؛ فِي
كُلِّ الضُّرُوفِ وَالْأَحْوَالِ، بِإِخْلَافٍ وَسُعْرِ فِي اسْتِنْقَالِهَا
مِنَ الْفَلَاكِ وَالْمَرَضِ وَالْأَلَمِ وَالْقَلْقِ
وَأَنْ أَحْفَظَ لِلنَّاسِ كَرَامَتَهُمْ وَأَسْتُرَ عَوْرَتَهُمْ، وَأَكْتُمَ

سِرَّهُمْ،
وَأَنْ أَكُونَ عَلَى الْكَوَامِ مِنْ وَسَائِلِ رَحْمَةِ اللَّهِ، بِإِخْلَافٍ
رِعَايَتِي الْكَلْبَةَ لِلْقَرِيبِ وَالْبَعِيدِ، لِلصَّالِحِ وَالصَّالِحِ،
وَالصَّادِقِ وَالْعَدُوِّ

وَأَنْ أَثَابِرَ عَلَى كَلْبِ الْعِلْمِ أَسْحَرَهُ لِنَفْعِ الْإِنْسَانِ لَا
لِأَخْلَافِهِ

وَأَنْ أَوْقِرَ مَنْ عَلَّمَنِي، وَأَعْلَمَ مَنْ يَصَغَّرَنِي، وَأَكُونَ أَخًا
لِكُلِّ زَمِيلٍ فِي الْمَهْنَةِ الْكَلْبَةِ، مَتَعَاوِنِينَ عَلَى الْبِرِّ
وَالتَّقْوَى

وَأَنْ تَكُونَ حَيَاتِي مِصْدَاقَ إِيمَانِي فِي سِرِّي وَعَلَانِيَتِي،
ثِقَّةً مِمَّا يُشِينُهَا أَجْمَلَهُ اللَّهُ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنِينَ
وَاللَّهُ عَلَى مَا أَقُولُ شَهِيدٌ

تركيبات الوجه المصنوعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:
مراجعة ببيولوجرافية ونتائج مبدئية على مرضى قسم جراحة
التجميل في المستشفى الجامعي محمد السادس.

الأطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم 2023/05/12
من طرف

السيد سعيد أبيضار

المزداد في 04 نوفمبر 1997 بمراكش

لنيل شهادة الدكتوراه في الطب

الكلمات الأساسية:

تركيبات الوجه الاصطناعية- طباعة ثلاثية الأبعاد- مختبر الطباعة ثلاثية الأبعاد - النمذجة
الثلاثية الأبعاد

اللجنة

الرئيس

ي. بن شمخة

السيد

المشرف

أستاذ في الجراحة التقيومية و التجميلية

م. ا. العمراني

السيد

أستاذ في الجراحة التقيومية والتجميلية

أ. غ. الأديب

السيد

الحكام

أستاذ في الإنعاش والتخدير

م. والي ادريسي

السيدة

أستاذة بقسم الأشعة

