

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
**Faculté De Génie Electrique et d'Informatique**  
**Département Génie Biomédical**



**Mémoire de fin d'études**  
**En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en**  
**Génie Biomédical**  
**Spécialité : Instrumentation Biomédicale**

**Présenté par :**

- MAAGA kamilia
- TAIBI souhila

---

*Etude avec Réalisation des Prothèses Dentaires avec les Procédés  
Numériques Impression 3D et Usinage  
À La Clinique Dentaire Moujahid Miriji Bahloul à Tizi Ouzou*

---

Soutenu publiquement, le 16/ 06/ 2025, à 9 :30 devant le jury composé de :

Dr Meddour Cherif	MCB	UMMTO	<b>Président</b>
Dr.Kessal Farida	MCB	UMMTO	<b>Examineur 1</b>
Dr.Bchir M'Hamed Saadi	MCB	UMMTO	<b>Examineur 2</b>
Dr.Haddadou Atika	MCB	UMMTO	<b>Promoteur</b>

**Année Universitaire : 2024-2025**



# Remerciements

Nous remercions du fond du cœur Dieu Tout-Puissant pour Sa guidance, Sa force et Sa miséricorde tout au long de notre parcours.

Nous exprimons notre profonde gratitude à *Madame Haddadou atika*, notre promotrice, pour son encadrement précieux, sa bienveillance et ses conseils tout au long de ce travail.

Nos remerciements vont également à l'ensemble des enseignants qui nous ont transmis leur savoir durant notre cursus, ainsi qu'à *Monsieur Hocini*, chef de département, pour son soutien.

Nous remercions chaleureusement la *Clinique Miriji*, lieu de notre stage, pour son accueil et sa disponibilité, ainsi que Mesdames et Messieurs les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire.





# Dédicaces

*À mon père,*

Qui n'est plus là, mais dont la présence continue de m'habiter. Ton absence m'a brisé le cœur, mais ton souvenir m'a donné la force de ne jamais abandonner. Ce mémoire est une promesse tenue : celle de réussir pour toi.

*À ma mère,*

Mon refuge, ma lumière, ma plus grande bénédiction.

*À mes sœurs et à mon frère,*

Pour leur amour sincère et leur soutien indéfectible.  
Vous êtes ma fierté, mon ancrage, mon équilibre.

**À ma famille et à ceux qui m'ont tendu la main,**  
Qu'Allah vous récompense pour votre bonté.

*À Lycia, ma chère amie,*

Pour sa présence constante, son écoute attentive et son affection sincère.  
Ta bienveillance et ton amitié m'ont soutenue dans les moments les plus difficiles.

Merci d'être toujours là.

*À ma binôme, Kamilia,*

Pour son soutien, sa patience et sa belle énergie tout au long de ce travail.  
Merci d'avoir été une partenaire fiable et une amie précieuse dans cette étape importante de ma vie.



# Dédicaces

*À mes parents,*

Mes repères et ma source de courage. Votre amour et vos sacrifices sont les fondations de tout ce que j'ai construits aujourd'hui.

*À mes frères,*

Pour leur présence discrète mais essentielle, leur force tranquille et leur soutien inébranlable.

*À ma sœur,*

Complice de toujours, douce et lumineuse, merci d'être cette voix qui apaise et ce regard qui encourage.

*À toute ma famille,*

Pour l'amour partagé, les prières murmurées et les mots qui réconfortent. Votre chaleur m'a accompagnée à chaque étape de ce parcours.

*À ma binôme, souhila,*

Merci pour ta patience, ton soutien sans faille et ta bonne humeur. Ta présence à mes côtés a rendu ce travail plus léger et plus enrichissant. Je suis reconnaissante d'avoir non seulement une partenaire de travail, mais aussi une amie sur qui je peux toujours compter.

**Kamilia**

# Sommaire

Bibliographie

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures .....	I
Liste des tableaux.....	VI
Liste des abréviations.....	VII
Introduction générale.....	1

## Chapitre I: Généralités sur les biomatériaux en odontologie

I.1 Introduction.....	3
I.2 Les biomatériaux.....	3
I.2.1 Généralités.....	3
I.2.2 Définition.....	4
I.3 Domaines d'applications des biomatériaux.....	4
I.4 Caractéristique des biomatériaux.....	6
I.4.1 Biocompatibilité .....	6
I.4.2 Bioactivité .....	6
I.4.3 Porosité .....	7
I.4.4 Stabilité et résistance mécanique.....	7
I.5 Différents classes des biomatériaux .....	7
I.5.1 Classification biologique .....	7
I.5.1.1 Les matériaux bio-tolérés .....	7
I.5.1.2 Les matériaux bio-inertes .....	8
I.5.1.3 Les matériaux résorbables .....	8
I.5.2 Classification fonctionnelle.....	8
I.5.2.1 Les matériaux d'origine naturelle .....	8
I.5.2.2 Les textiles.....	9
I.5.2.3 Les polymères .....	9
I.5.2.4 Céramique.....	11
I.5.2.5 Les métaux et alliage métallique .....	13
I.5.2.6 Les matériaux composites .....	15

I.6 Propriétés physiques et mécaniques des matériaux composites .....	15
I.6.1 Lois des mélanges .....	15
I.7 Les biomatériaux utilisés en odontologie .....	18
I.7.1 Les amalgames.....	18
I.7.2 les résines.....	19
I.7.2.1 la résine acrylique .....	20
I.7.2.2 les compositions de la résine.....	20
I.7.2.3 Exigences d'une résine dentaire .....	22
I.8 La zircone.....	22
I.8.1 Les différentes formes cristallographiques .....	23
I.8.1.1 Monoclinique .....	23
I.8.1.2 Tétraogonale .....	24
I.8.1.3 Cubique .....	24
I.8.2 Structure moléculaire de la zircone .....	25
I.8.2.1 la phase monoclinique.....	25
I.8.2.2 La phase tétraogonale.....	26
I.8.2.3 La phase cubique .....	26
I.8.3 Effet des oxydes stabilisants.....	26
I.9 Conclusion .....	27
Bibliographie .....	28

## **Chapitre II : L'anatomie dentaire et les prothèses en odontologie**

II.1 Introduction .....	31
II.2 Anatomie dentaire: Synthèse et éléments clés.....	31
II.2.1 La structure externe de la dent .....	31
II.2.2 La structure interne de la dent .....	32
II.2.3 Les tissus de soutien .....	33
II.2.4 Les différentes classes de dents .....	34
II.2.5 Les différents types de dents .....	35
II.2.5.1 Les dents temporaires .....	35
II.2.5.2 Les dents permanentes.....	36

II.2.6 Les fonctions des dents.....	38
II.3 Généralités sur les prothèses dentaires .....	38
II.3.1 Définition de la prothèse dentaire.....	38
II.3.2 Classification des prothèses dentaires .....	39
II.3.2.1 Les prothèses amovibles (PA .....	39
II.3.2.2 Les prothèses fixes (PF.....	41
II.3.3 La différence entre les prothèses dentaires fixes et amovibles .....	43
II.3.4 Exigences d'une prothèse dentaire .....	44
II.3.5 Rôle de la prothèse dentaire.....	44
II.3.6 Les examens radiologiques indispensables pour la conception d'une prothèse dentaire.....	46
II.4 Conclusion.....	49
Bibliographie .....	50

### **Chapitre III Les procédés numériques impression 3D et usinage**

III.1 Introduction.....	52
<i>Premier procédé numérique : L'impression 3D</i>	
III.2 Généralités sur l'impression 3D .....	52
III.2.1 Définition de la 3D.....	52
III.2.2 Les différentes méthodes d'impression 3D .....	53
III.2.2.1 L'impression 3D par photopolymérisation .....	54
III.2.2.2 L'impression 3D par liage de poudre.....	57
III.2.2.3 L'impression 3D par dépôt de matière fondue.....	59
III.3 Les application de l'impression 3D dans la fabrication des prothèses dentaire.....	60
III.3.1 En Orthodontie .....	60
III.3.2 En Prothèse fixe (PF .....	61
III.3.3 En Prothèse Amovible .....	62
III.3.4 En prothèse complète (PC .....	62
III.3.5 En prothèse implantaire .....	63
III.4 Perspectives de l'impression 3D en odontologie .....	64

## *Deuxième procédé numérique : L'usinage*

III.5 Généralités sur l'usinage .....	64
III.5.1 Définition de l'usinage.....	64
III.5.2 Les différents types de l'usinage.....	65
III.5.2.1 Usinage en dur.....	65
III.5.2.2 Usinage mou.....	65
III.6 Les différentes technologies d'usinage utilisées pour les prothèses dentaires.....	65
III.6.1 Usinage traditionnel .....	65
III.6.2 Usinage au laser .....	66
III.6.3 Usinage numérique (CFAO.....	67
III.7 L'apport du processus d'usinage dans l'odontologie .....	67
III.8 Perspectives et évolution de l'usinage en odontologie .....	68
III.9 Technologies utilisées avec l'impression 3D et l'usinage pour la fabrication de prothèses dentaires.....	68
III.9.1 Scanner intra orale .....	68
III.9.2 Conception assisté par ordinateur (CAO .....	69
III.9.3 Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO.....	70
III.10 Conclusion .....	71
Bibliographie .....	72
 <b>Chapitre IV :Réalisation de prothèses dentaires avec l'impression 3D et l'usinage</b>	
IV.1 Introduction .....	74
IV.2 Présentation du lieu de stage .....	75
IV.2.1 Description de la clinique Moujahid Miriji Bahloul.....	75
IV.2.2 Structure de la clinique Moujahid Miriji Bahloul.....	75
<i>Partie 1 : Réalisation d'une prothèse dentaire BRIDGE avec l'impression 3D</i>	
IV.3 les appareils et les matériels et les matériaux utilisés dans la fabrication de la prothèse dentaire bridge.....	77
IV.3.1 les appareils.....	77
IV.3.1.1 le scanner intra-oral.....	77
IV.3.1.2 Logiciels de conception .....	77

IV.3.1.3 Imprimante 3D .....	78
IV.3.1.4 L'appareil de polymérisation .....	79
IV.3.1.5 Appareil de polissage et lustrage des prothèses dentaires.....	79
IV.3.2 Les matériels .....	80
IV.3.2.1 Spatule.....	80
IV.3.2.2 Pincettes et brucelles .....	81
IV.3.3 Les matériaux.....	81
IV.3.3.1 Résine liquide.....	81
IV.3.3.2 Pierre ponce en poudre .....	82
IV.4 Processus de fabrication d'une prothèse dentaire Bridge avec l'impression 3D.....	82
IV.4.1 Anamnèse .....	82
IV.4.2 Fiche technique de patiente.....	83
IV.4.3 Le déroulement du processus de fabrication de la prothèse dentaire avec l'impression 3D.....	83
IV.4.3.1 Taillage des dents .....	83
IV.4.3.2 Prise l'empreinte à l'aide du scanner intra-oral .....	84
IV.4.3.3 Conception de la prothèse dentaire .....	86
IV.4.3.4 l'impression de bridge avec l'imprimante 3D .....	89
IV.4.3.5 polymérisation de la prothèse dentaire Bridge .....	91
IV.4.3.6 Les Finitions de la réalisation de Bridge a l'impression 3D.....	92
IV.4.3.7 Résultat final de la prothèse brid .....	93
IV.4.3.8 Ajustement du bridge dentaire 3D sur la patiente .....	93
<i>Partie 2 : Réalisation de la couronne dentaire par usinage</i>	
IV.5 Les appareils, matériels et matériaux de fabrication de la couronne en zircone .....	94
IV.5.1 Les appareils utilisés dans la fabrication de la couronne dentaire.....	94
IV.5.1.1 Le Scanner intraorale .....	94
IV.5.1.2 Les logiciels de conception .....	95
IV.5.1.3 L'usineuse.....	96
IV.5.1.4 La sableuse .....	97
IV.5.1.5 Le four de glaçage .....	98
IV.5.1.6 Le four de frittage.....	99

IV.5.1.7 Le micromoteur avec les pièces à main et fraises .....	99
IV.5.2 Les matériels utilisés dans la fabrication de la couronne dentaire.....	100
IV.5.2.1 Les pinceaux et la soufflette à air comprimé .....	100
IV.5.2.2 Le pinceau dentaire fin .....	100
IV.5.2.3 Les pinces .....	101
IV.5.3 Les matériaux utilisés dans la fabrication de la couronne dentaire .....	101
IV.5.3.1 La zircone .....	101
IV.5.3.2 L'oxyde d'aluminium .....	102
IV.5.3.3 Les teintes de glaçage .....	102
IV.6 Le processus de fabrication des prothèses dentaires par usinage .....	103
IV.6.1 L'Anamnèse.....	103
IV.6.2 La fiche technique du patient (Prothèse Dentaire Fixe-couronne.....	103
IV.6.3 Déroulement de la fabrication de la couronne dentaire avec l'usinage .....	103
IV.6.3.1 La consultation chez le dentiste.....	103
IV.6.3.2 La prise d'empreinte optique.....	104
IV.6.3.3 La conception et la fabrication assisté par ordinateur (CFAO .....	105
IV.6.3.4 L'usinage de la couronne.....	111
IV.6.3.5 Le détachement et polissage de la couronne.....	113
IV.6.3.6 Le frittage de la couronne.....	114
IV.6.3.7 Le sablage.....	114
IV.6.3.8 Le glaçage.....	115
IV.6.3.9 La cuisson au four de glaçage.....	116
IV.6.3.10 La livraison et l'essai clinique .....	117
IV.7 Résultats et discussion.....	117
IV.8 Conclusion .....	118
Conclusion générale .....	119
Annexes	
Résumé	

## Liste des figures

<b>Figures</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>Figure I.1</b>	La structure du substitut osseux Geistlich Bio-Oss présente une grande similitude avec celle de l'os humain	<b>4</b>
<b>Figure I.2</b>	Représentation du PLA	<b>10</b>
<b>Figure I.3</b>	Polymérisation	<b>11</b>
<b>Figure I.4</b>	Couronnes dentaires en céramique	<b>11</b>
<b>Figure I.5</b>	Bridge dentaire en céramique	<b>12</b>
<b>Figure I.6</b>	prothèse adjointe métallique	<b>14</b>
<b>Figure I.7</b>	Alliage	<b>14</b>
<b>Figure I.8</b>	Exemple de restauration dentaire en résine composite	<b>15</b>
<b>Figure I.9</b>	Traction simple	<b>16</b>
<b>Figure I.10</b>	Courbe contrainte-déformation	<b>17</b>
<b>Figure I.11</b>	les amalgames dentaires	<b>18</b>
<b>Figure I.12</b>	résine blanche	<b>19</b>
<b>Figure I.13</b>	résine rose	<b>19</b>
<b>Figure I.14</b>	prothèse dentaire à base de résine acrylique	<b>20</b>
<b>Figure I.15</b>	la résine acrylique en poudre	<b>21</b>
<b>Figure I.16</b>	Résine acrylique liquide	<b>21</b>
<b>Figure I.17</b>	Baddeleyite naturel	<b>22</b>
<b>Figure I.18</b>	Maille monoclinique zircon	<b>23</b>
<b>Figure I.19</b>	Maille quadratique de la zircon	<b>24</b>
<b>Figure I.20</b>	Maille cubique de la zircon	<b>25</b>
<b>Figure I.21</b>	Mailles quadratique et monoclinique de la zircon	<b>25</b>
<b>Figure I.22</b>	Maille cubique de la zircon (structure fluorine)	<b>26</b>
<b>Figure. II.1</b>	Anatomie externe d'une dent monoradiculée	<b>32</b>
<b>Figure II.2</b>	Coupe sagittale de l'organe dentaire	<b>34</b>
<b>Figure II.3</b>	Classes des dents	<b>35</b>
<b>Figure.II.4</b>	Dents d'un enfant	<b>35</b>
<b>Figure.II.5</b>	Dents d'un adulte	<b>36</b>
<b>Figure II .6</b>	Couloir dentaire fonctionnel	<b>38</b>
<b>Figure II.7</b>	Prothèse totale amovible sur implant	<b>39</b>

<b>Figures</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>Figure II.8</b>	Prothèse totale amovible sans implant	<b>40</b>
<b>Figure II.9</b>	Prothèse partielle coulée	<b>40</b>
<b>Figure II.10</b>	Prothèse partielle conventionnelle	<b>41</b>
<b>Figure II.11</b>	Couronne dentaire	<b>41</b>
<b>Figure II.12</b>	Bridge sur dents naturelles	<b>42</b>
<b>Figure II.13</b>	Les parties de l'implant	<b>42</b>
<b>Figure II.14</b>	Architecture de l'implant	<b>42</b>
<b>Figure II.15</b>	Implant dentaire mis en bouche	<b>43</b>
<b>Figure II.16</b>	Exemple d'une prothèse amovible totale qui répond aux exigences	<b>44</b>
<b>Figure II.17</b>	Exemple d'une orthopantomogramme	<b>47</b>
<b>Figure II.18</b>	Exemple du résultat d'une radiovisiographie	<b>48</b>
<b>Figure II.19</b>	Exemple d'une radiographie occlusale	<b>49</b>
<b>Figure III.1</b>	Processus de fabrication additive	<b>53</b>
<b>Figure III.2</b>	Étapes de conversion des données numériques pour l'impression 3D	<b>54</b>
<b>Figure III.3</b>	Procédé SLA	<b>55</b>
<b>Figure III.4</b>	imprimante 3D SLA	<b>55</b>
<b>Figure III.5</b>	Procédé DLP	<b>56</b>
<b>Figure III.6</b>	Procédé Polyjet	<b>57</b>
<b>Figure III.7</b>	Représentation schématique d'une imprimante SLS	<b>58</b>
<b>Figure III.8</b>	Représentation schématique d'une imprimante 3DP	<b>59</b>
<b>Figure III.9</b>	Fonctionnement schématique d'une imprimante 3D FDM	<b>60</b>
<b>Figure III.10</b>	Un Set up virtuel	<b>61</b>
<b>Figure III.11</b>	Couronne dentaire réalisé avec la technique D'impression 3D	<b>61</b>
<b>Figure III.12</b>	Modélisation 3D d'une prothèse Partielle mandibulaire par impression 3D	<b>62</b>
<b>Figure III.13</b>	Conception numérique d'une PC	<b>63</b>
<b>Figure III.14</b>	Conception numérique d'un implant dentaire	<b>64</b>
<b>Figure III.15</b>	Machine d'usinage pour prothèse dentaire	<b>65</b>

<b>Figures</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>Figure III.16</b>	Usinage manuelle d'une prothèse dentaire	<b>66</b>
<b>Figure III.17</b>	Exemple de coupage de la céramique avec laser	<b>66</b>
<b>Figure III.18</b>	La CFAO pour l'usinage dentaire	<b>67</b>
<b>Figure III.19</b>	Scanner intra oral	<b>69</b>
<b>Figure III.20</b>	Conception de la prothèse dentaire sur le logiciel CAO	<b>69</b>
<b>Figure III.21</b>	Les différents systèmes de la chaîne CFAO	<b>70</b>
<b>Figure IV.1</b>	Un Organigramme qui illustre les étapes principales de chaque procédé.	<b>74</b>
<b>Figure IV.2</b>	Façade principale de la Clinique Dentaire Moudjahid Meriji	<b>75</b>
<b>Figure IV.3</b>	Le bureau de travail du prothésiste	<b>76</b>
<b>Figure IV.4</b>	Scanner intra-oral.	<b>77</b>
<b>Figure IV.5</b>	Imprimante 3D RayDent	<b>78</b>
<b>Figure IV.6</b>	Appareil de polymérisation RayDent	<b>79</b>
<b>Figure IV.7</b>	Appareil de polissage et lustrage	<b>79</b>
<b>Figure IV.8</b>	Spatule	<b>80</b>
<b>Figure IV.9</b>	Réservoir de la résine	<b>80</b>
<b>Figure IV.10</b>	Pincés et brucelles	<b>81</b>
<b>Figure IV.11</b>	Résine liquide utilisée pour l'impression de Bridge	<b>81</b>
<b>Figure IV.12</b>	pierre ponce en poudre	<b>82</b>
<b>Figure IV.13</b>	pierre ponce en poudre mélangée Avec l'eau	<b>82</b>
<b>Figure IV.14</b>	Photo des dents avant l'intervention prise sur une patiente à la clinique MERIDJI	<b>83</b>
<b>Figure IV.15</b>	Préparation des dents après le taillage pour le bridge dentaire	<b>84</b>
<b>Figure IV.16</b>	Prise de l'empreinte numérique effectuée par nous deux avec le scanner intra-oral	<b>84</b>
<b>Figure IV.17</b>	Scanner intra orale en bouche	<b>85</b>
<b>Figure IV.18</b>	l'interface de logiciel 'carestream'	<b>85</b>
<b>Figure IV.19</b>	Un modèle numérique en 3D prise à Tizi-Ouzou	<b>86</b>
<b>Figure IV.20</b>	L'exportation de fichier en format STL.	<b>86</b>
<b>Figure IV.21</b>	Sélection des dents à concevoir	<b>87</b>
<b>Figure IV.22</b>	Délimitation des préparations sur Exocad.	<b>87</b>

<b>Figures</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>Figure IV.23</b>	ajustement et modelage du bridge sur Exocad	<b>88</b>
<b>Figure IV.24</b>	Préparation du modèle pour l'impression 3D avec Raydent	<b>88</b>
<b>Figure IV.25</b>	Visualisation du bridge avec supports dans Raydent	<b>89</b>
<b>Figure IV.26</b>	L'imprimante 3D avec une bouteille de résine	<b>89</b>
<b>Figure IV.27</b>	Position initiale du bras avant le début de l'impression	<b>90</b>
<b>Figure IV.28</b>	Descente du bras dans la cuve à résine lors de l'impression	<b>90</b>
<b>Figure IV.29</b>	temps estimé pour la fabrication de bridge	<b>90</b>
<b>Figure IV.30</b>	Bridge après impression 3D avec supports	<b>91</b>
<b>Figure IV.31</b>	Polymérisation du bridge dans l'unité UV	<b>91</b>
<b>Figure IV.32</b>	étape de dégrossissage de bridge	<b>92</b>
<b>Figure IV.33</b>	Polissage de la prothèse à l'aide d'une micromoteuse	<b>92</b>
<b>Figure IV.34</b>	Résultat final d'un Bridge dentaire en 3D	<b>93</b>
<b>Figure IV.35</b>	Dentition de la patiente après le placement du bridge en résine.	<b>93</b>
<b>Figure IV.36</b>	Scanner intra orale	<b>94</b>
<b>Figure IV.37</b>	L'usineuse -clinique Moujahid Miriji de Tiziouzou	<b>96</b>
<b>Figure IV.38</b>	La sableuse- clinique Moujahid Miriji de Tiziouzou	<b>97</b>
<b>Figure IV.39</b>	Le four de glaçage- clinique Moujahid Miriji Tiziouzou	<b>98</b>
<b>Figure IV.40</b>	Le four de frittage- clinique Moujahid Miriji Tiziouzou	<b>99</b>
<b>Figure IV.41</b>	Micromoteur et pièce à main avec fraises	<b>99</b>
<b>Figure IV.42</b>	Les Pinceaux	<b>100</b>
<b>Figure IV.43</b>	La Soufflette	<b>100</b>
<b>Figure IV.44</b>	Le Pinceau dentaire	<b>100</b>
<b>Figure IV.45</b>	Les Pinces	<b>101</b>
<b>Figure IV.46</b>	Le Disque en zircone	<b>101</b>
<b>Figure IV.47</b>	L'Oxyde d'aluminium	<b>102</b>
<b>Figure IV.48</b>	Les teintes de glaçage de la prothèse	<b>102</b>
<b>Figure IV.49</b>	Le taillage de la dent	<b>104</b>
<b>Figure IV.50</b>	La prise d'empreinte avec le scanner intra-oral	<b>104</b>
<b>Figure IV.51</b>	L'empreinte numérique de la dentition de la patiente	<b>105</b>
<b>Figure IV.52</b>	Le choix du type de prothèse sur exocad	<b>106</b>
<b>Figure IV.53</b>	Le choix du matériau de la prothèse sur exocad	<b>106</b>

<b>Figures</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>Figure IV.54</b>	Le choix de la dent concerné sur exocad	<b>106</b>
<b>Figure IV.55</b>	La définition des contours de la couronne sur exocad	<b>107</b>
<b>Figure IV.56</b>	La définition de l'axe d'insertion de la couronne sur exocad	<b>107</b>
<b>Figure IV.57</b>	Le modèle prêt à la FAO	<b>108</b>
<b>Figure IV.58</b>	La couronne sur l'interface du logiciel Hyperdent	<b>108</b>
<b>Figure IV.59</b>	La couronne positionné dans le disque en zircone	<b>109</b>
<b>Figure IV.60</b>	La définition des connecteurs (apparu en vert) de la couronne avec le disque de zircone	<b>109</b>
<b>Figure IV.61</b>	Le lancement du calcul de la trajectoire du processus de l'usinage	<b>110</b>
<b>Figure IV.62</b>	Le programme obtenu après le calcul	<b>111</b>
<b>Figure IV.63</b>	La sculpture de la couronne dans le disque en zircone avec la fraiseuse	<b>112</b>
<b>Figure IV.64</b>	La couronne en zircone retiré de l'appareil d'usinage	<b>112</b>
<b>Figure IV.65</b>	Le détachement et polissage de la couronne en zircone	<b>113</b>
<b>Figure IV.66</b>	Le polissage de la couronne	<b>113</b>
<b>Figure IV.67</b>	La prothèse mise au four de frittage	<b>114</b>
<b>Figure IV.68</b>	Sablage de la couronne dentaire	<b>114</b>
<b>Figure IV.69</b>	Tableau de teintes dentaires	<b>115</b>
<b>Figure IV.70</b>	Le glaçage de la couronne	<b>115</b>
<b>Figure IV.71</b>	La couronne dans le four de glaçage	<b>116</b>
<b>Figure IV. 72</b>	La couronne en zircone fini	<b>116</b>
<b>Figure IV.73</b>	La dentition de la patiente avant le placement de la couronne.	<b>117</b>
<b>Figure IV.74</b>	La dentition de la patiente après le placement de la couronne	<b>117</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableaux</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>Tableau I.1</b>	regroupe quelques exemples d'applications des biomatériaux dans le domaine médical	<b>5</b>
<b>Tableau I.2</b>	classification des matériaux bioactifs selon la proposition de 1994	<b>6</b>
<b>Tableau I.3</b>	Biomatériaux les plus couramment utilisés	<b>13</b>
<b>Tableau I.4</b>	Applications biomédicales et industrielles des matériaux métalliques	<b>14</b>
<b>Tableau I.5</b>	Avantages et inconvénients des amalgames dentaires	<b>19</b>
<b>Tableau I.6</b>	Propriétés mécaniques, de l'échantillon de zircone	<b>23</b>
<b>Tableau II.1</b>	L'éruption et l'exfoliation des dents temporaires en fonction de leur type et de leur position	<b>36</b>
<b>Tableau II.2</b>	L'âge moyen d'éruption des dents permanentes et leurs ordre d'apparition	<b>37</b>

## Liste des abréviations

- CAO** : Conception assisté par ordinateur.
- CFAO** : Conception-Fabrication Assistée par Ordinateur.
- CNC** : commande numérique par ordinateur.
- DAO** : Dessin assisté par ordinateur.
- DLP** : Traitement de lumière numérique.
- DVO** : Dimension Verticale d’Occlusion.
- FAO** : Fabrication assisté par ordinateur.
- FDM** : Modélisation par dépôt de filament fondu.
- IA** : Intelligence artificielle.
- IHM** : Interfaces homme-machine.
- LCD** : photopolymérisation par écran à cristaux liquides.
- PA** : Prothèses amovibles.
- PC** : Prothèse complète.
- PF** : Prothèses fixes.
- PLA** : Acide polylactique.
- PMMA** : Polyméthacrylate de méthyle.
- PPA** : Les prothèses partielles amovibles.
- RVG** : Radiovisiographie.
- SLA** : Stéréo lithographie.
- SLS** : La technologie du frittage sélectif par laser.
- STL** : Stéréo lithographie.
- UV** : Ultra-violet.
- 3D** : Tridimensionnelle.
- 3DP** : Impression tridimensionnelle.
- 4D** : Quadridimensionnelle



# **Introduction Générale**

## Introduction générale

---

Depuis l'Antiquité, l'Homme a toujours cherché à restaurer les dents perdues ou endommagées, en utilisant des matériaux naturels comme l'os, l'ivoire ou le métal en témoignent les premières prothèses rudimentaires retrouvées dans l'Égypte ancienne ou la Rome antique. L'odontologie, autrefois artisanale, est aujourd'hui une discipline de haute précision, à la croisée de la biologie, des sciences des matériaux et des technologies numériques. Cette évolution vise à répondre aux exigences fonctionnelles et esthétiques du patient, tout en assurant la durabilité et la biocompatibilité des restaurations. Une compréhension rigoureuse de l'anatomie dentaire est essentielle à toute réhabilitation prothétique réussie. Elle permet d'identifier les fonctions de chaque dent et d'adapter le choix du type de prothèse qu'elle soit fixe, amovible ou implantaire aux besoins cliniques spécifiques. Ce choix repose aussi sur la qualité des biomatériaux utilisés. Métaux, céramiques, polymères ou composites doivent offrir solidité, stabilité, esthétique et compatibilité avec les tissus vivants. Mais la transformation la plus marquante de ces dernières années réside dans l'intégration des procédés numériques, notamment l'usinage et l'impression 3D, qui permettent de concevoir et de produire des prothèses avec une précision micrométrique, une rapidité inégalée et une personnalisation optimale.

Dans notre mémoire de fin d'études, nous nous interrogeons sur la problématique suivante : **comment les procédés numériques, tels que l'impression 3D et l'usinage, interviennent-ils dans la fabrication des prothèses dentaires en termes de précision, de qualité et d'efficacité clinique ?**

Pour y répondre, nous avons articulé notre travail autour de quatre chapitres complémentaires, alliant cadre théorique et application pratique, notamment au sein de la clinique dentaire Moudjahid Meridji Bahloul.

D'abord, dans le chapitre 1, nous aborderons les biomatériaux en odontologie, véritables piliers dans la fabrication de prothèses fiables et durables.

Ensuite le chapitre 2 sera consacré à l'anatomie dentaire et aux différents types de prothèses dentaires, éléments indispensables pour comprendre les choix cliniques adaptés à chaque situation.

Puis, dans le chapitre 3, nous présenterons les procédés numériques, en mettant particulièrement l'accent sur l'usinage et l'impression 3D, deux technologies en plein essor dans le domaine prothétique.

## Introduction générale

---

Le chapitre 4 illustrera notre application pratique concrète à travers la réalisation d'une prothèse Bridge avec *l'impression 3D* et d'une réalisation d'une prothèse couronne avec *l'usinage*, permettant de confronter les connaissances théoriques à la réalité clinique.

Nous terminerons par une conclusion mettant en évidence que la convergence entre la connaissance anatomique, la maîtrise des biomatériaux et l'intégration des technologies numériques constitue la clé d'une dentisterie moderne, à la fois plus précise, plus rapide et résolument centrée sur le patient.



**Chapitre 01**  
**Généralités sur les**  
**Biomatériaux en odontologie**

## **I.1 Introduction**

L'odontologie moderne repose sur l'utilisation de biomatériaux destinés à améliorer la santé bucco-dentaire et à restaurer la fonction et l'esthétique des dents. Ces matériaux, qui englobent les métaux, les céramiques, les polymères et les composites, jouent un rôle crucial dans la fabrication des prothèses, des implants et des dispositifs de restauration dentaire. Leur choix dépend de plusieurs critères, notamment la biocompatibilité, la résistance mécanique et la durabilité.

Dans ce premier chapitre, nous allons explorer les généralités sur les biomatériaux et les biomatériaux en odontologie, en mettant en avant leurs classifications, leurs propriétés et leurs principales applications dans le domaine dentaire.

## **I.2 Les biomatériaux**

### **I.2.1 Généralités**

Depuis plusieurs décennies, la médecine ne se limite plus uniquement à la guérison des maladies, mais cherche également à améliorer la qualité de vie et le confort des patients. Dans ce contexte, les chirurgiens confrontés à des pertes de substances osseuses, résultant de diverses pathologies ou traumatismes, ont vu émerger la science des biomatériaux comme une solution prometteuse [1].

Ces dernières années, d'importants progrès ont été réalisés dans la conception et le développement de biomatériaux destinés à la substitution osseuse. Les matériaux de nouvelle génération ne se contentent plus de remplacer les tissus endommagés : ils interagissent désormais avec l'os et stimulent son processus de régénération. Cette avancée résulte d'une étroite collaboration entre chirurgiens, chimistes, biologistes et physiciens, qui travaillent ensemble pour développer des solutions toujours plus performantes.

Un biomatériau idéal destiné à la régénération osseuse doit répondre à plusieurs critères essentiels :

Etre biocompatible pour éviter toute réaction immunitaire indésirable.

Etre biodégradable, permettant ainsi sa résorption progressive au profit d'un os néoformé.

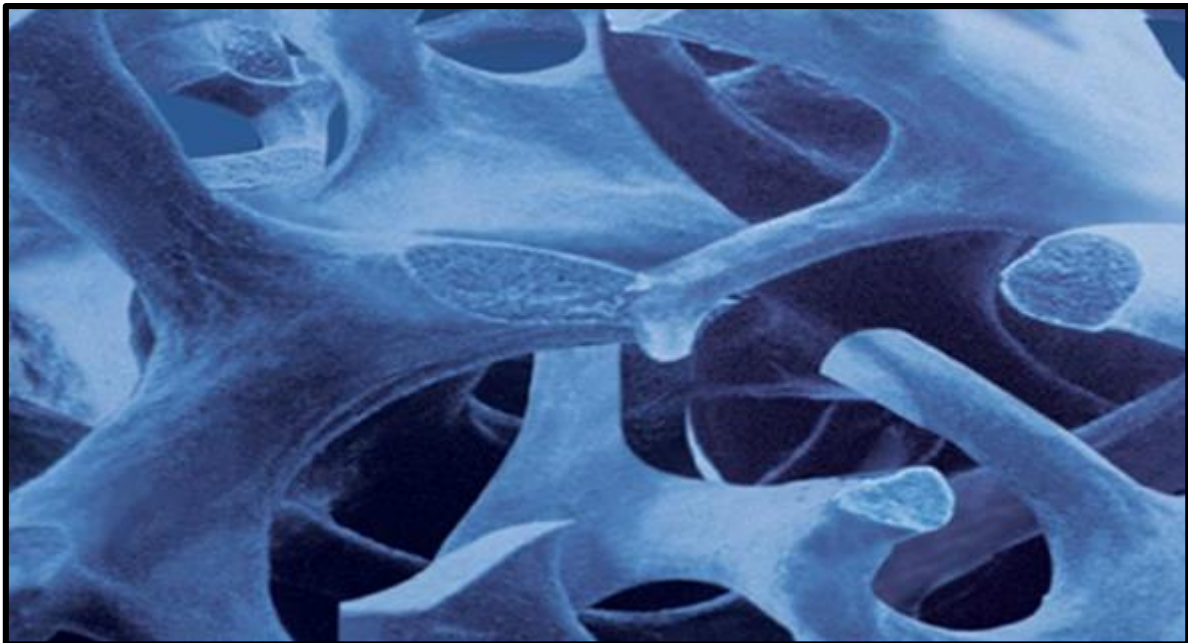
Etre façonnable afin de s'adapter à la taille et à la forme requise.

Posséder des propriétés mécaniques adéquates pour supporter les contraintes fonctionnelles dès sa mise en place [2].

### **I.2.2 Définition**

La Société Européenne des Biomatériaux (European Society for Biomaterials) a défini en 1986, puis complété en 1991 lors de la conférence de Chester, le biomatériau comme un matériau conçu pour interagir avec les systèmes biologiques. Il peut être utilisé dans la fabrication de dispositifs à visée diagnostique, de substituts tissulaires ou organiques, ainsi que de dispositifs de suppléance ou d'assistance fonctionnelle [3].

Un biomatériau est un matériau inerte, d'origine naturelle ou synthétique, utilisé dans un dispositif médical pour interagir avec les systèmes biologiques. Il est conçu pour remplacer, réparer ou soutenir des tissus ou des organes, tout en assurant une compatibilité avec l'organisme [4].



**Figure I.1 :** La structure du substitut osseux Geistlich Bio-Oss présente une grande similitude avec celle de l'os humain [5].

### **I.3 Domaines d'applications des biomatériaux**

Les biomatériaux jouent un rôle essentiel en médecine en permettant la conception de dispositifs implantables destinés à restaurer, remplacer ou soutenir différentes structures biologiques. Grâce à leurs propriétés biocompatibles, ces matériaux sont utilisés dans divers domaines médicaux, allant de l'ophtalmologie à la chirurgie orthopédique, en passant par la cardiologie et l'endocrinologie.

Le tableau suivant présente quelques exemples d'applications des biomatériaux en fonction des spécialités médicales :

Domaine médicale	Exemples d'application
<b>Ophtalmologie</b>	Lentilles de contact, implants intraoculaires, coussinets de récupération post-opératoire
<b>Odontologie &amp; stomatologie</b>	Matériaux pour restauration dentaire, comblement osseux, dispositifs orthodontique, reconstitution maxillo-faciale
<b>Chirurgie orthopédique</b>	Prothèse articulaire (hanche, genou, coude.), implant de remplacement osseux après tumeur ou traumatisme, fixation de fractures (vie, plaque, clous intramédullaires)
<b>Cardiovasculaire</b>	Valve cardiaque, stimulateurs cardiaque implantables (pacemakers, défibrillateurs)
<b>Urologie &amp; néphrologie</b>	Dispositifs de dialyse (dialyseurs, cathéters, tubulures), riens artificiels portables, implant pour traitements urinaires
<b>Endocrinologie &amp; chronothérapie</b>	Pancréas artificiel, pompes à insuline implantables, systèmes de libération prolongée de médicaments
<b>Chirurgie esthétique</b>	Implants mammaires, matériaux de comblement (fillers), prothèses faciales et corporelles
<b>Chirurgie générale &amp; autres application</b>	Drains chirurgicaux, colles biologique, peau artificiels, substituts dermique

**Tableau I.1** : Regroupe quelques exemples d'applications des biomatériaux dans le domaine médical [6].

## I.4 Caractéristiques des biomatériaux

Les biomatériaux utilisés dans le secteur médical devraient répondre à plusieurs critères pour garantir leur intégration et leur durabilité au sein de l'organisme vivant. Ces caractéristiques principales comprennent :

### I.4.1 Biocompatibilité

Un biomatériau en contact avec l'os, la moelle osseuse, le sang, le tissu musculaire, ou les couches profondes du derme doit être entièrement biocompatible et ne pas déclencher de réactions secondaires nuisibles de différentes natures (allergiques, cytotoxiques, mutagènes, cancérigènes, encapsulation).

Les phosphates de calcium et d'autres biocéramiques sont des matériaux connus pour leur excellente biocompatibilité, qu'il s'agisse d'études in vitro ou in vivo [7].

Un matériau est considéré comme biocompatible lorsqu'il est toléré par le système immunitaire de l'hôte sans provoquer de réaction inflammatoire ni altérer les tissus environnants [8].

### I.4.2 Bioactivité

Un implant est dit bioactif lorsqu'il peut interagir favorablement avec le corps en établissant des liens entre les tissus et le matériau sans l'intervention d'un tissu inflammatoire. Cela est fonction des caractéristiques physico-chimiques, mécaniques, morphologiques et biologiques du matériau [9].

En 1994, une classification fut proposée, dans laquelle les matériaux bioactifs sont classés en deux classes :

Classe A	Classe B
Ces matériaux sont connus sous le nom d'ostéoproduleurs, qui se fixent rapidement aux tissus durs et mous. Ils impliquent des réactions à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule. Effectivement, l'ostéoproduction est décrite comme un processus au cours duquel une surface bioactive est colonisée par des cellules souches ostéogéniques dans un contexte défaillant suite à une opération chirurgicale.	Cette classe comprend des matériaux ostéoconducteurs, qui offrent une surface biocompatible favorisant la migration de l'os. Ces matériaux déclenchent uniquement une réaction extracellulaire à l'interface.

**Tableau I.2 :** classification des matériaux bioactifs selon la proposition de 1994 [3].

### **I.4.3 Porosité**

La présence de porosité permet la colonisation des cellules impliquées dans la formation osseuse et de la matière organique. Il existe une interaction entre ces biomatériaux et le tissu osseux grâce à une fixation biologique, qui ne peut se produire que si la taille des pores est égale ou supérieure à 100 µm. Cependant, la porosité limite l'utilisation de ces biomatériaux, car elle entraîne de faibles propriétés mécaniques, ce qui empêche leur implantation dans des zones soumises à des charges et des contraintes mécaniques élevées [10].

### **I.4.4 Stabilité et résistance mécanique**

La stabilité mécanique constitue un critère essentiel pour la réparation osseuse. Il est crucial de maintenir un soutien et un contact constant entre l'implant et les tissus endommagés.

Les exigences mécaniques du biomatériau dépendent de l'application envisagée, de l'emplacement de l'implant, des conditions d'implantation et du type d'os qu'il doit remplacer. Par ailleurs, il est important de prendre en compte la manière dont les contraintes mécaniques sont réparties entre l'os et l'implant. En effet, pour que le tissu osseux puisse se régénérer et favoriser l'ostéointégration de l'implant, il doit être soumis à une stimulation mécanique. L'idéal serait d'avoir un substitut osseux dont les propriétés mécaniques soient proches de celles de l'os naturel qu'il remplace [11].

## **I.5 Différents classes des biomatériaux**

Un biomatériau interagit avec le système biologique de l'organisme, et la qualité de cette intégration osseuse déterminera son succès en tant que solution thérapeutique.

Cette capacité d'intégration repose principalement sur deux propriétés fondamentales : sa **biocompatibilité**, qui garantit qu'il ne provoque pas de réaction indésirable au sein de l'organisme, et sa **biofonctionnalité**, qui lui permet de remplir efficacement le rôle thérapeutique pour lequel il est conçu.

C'est sur la base de ces principes que les biomatériaux sont classés en plusieurs catégories, Voici ces classes :

### **I.5.1 Classification biologique**

Les biomatériaux sont souvent classés suivant des critères biologiques plus que fonctionnels [12].

#### **I.5.1.1 Les matériaux bio-tolérés**

Ils ont principalement une fonction pratique. Cela représente le niveau minimal de biocompatibilité. Ces matériaux sont biocompatibles, ne provoquent pas de réactions inflammatoires et sont utilisés dans les domaines de la dentisterie et de l'orthopédie, tels que

(le chrome, le cobalt, les ciments polyacryliques, le carbone vitreux, la zircone, l'alumine dense) etc [13].

#### **I.5.1.2 Les matériaux bio-inertes**

L'insertion de ces éléments dans l'organisme ne provoque pas de réponses inflammatoires, cependant, aucun lien avec les tissus vivants ne s'établit. Ils sont ostéointégrés et se distinguent par une interface fonctionnelle basée sur la fixation morphologique. Cette classe contient divers métaux, des alliages de titane et d'aluminium pour les prothèses orthopédiques, ainsi que l'alumine en tant que matériau de cale [14].

#### **I.5.1.3 Les matériaux résorbables**

Ces matériaux visent à favoriser la régénération des tissus osseux. Ils remplissent une fonction mécanique en comblant les défauts osseux tout en facilitant la croissance de la matrice osseuse. La fixation de l'implant à cette matrice se réalise de manière biologique. Parmi les matériaux de cette catégorie, on retrouve les phosphates de calcium, tels que le triphosphate de calcium, les ciments et les carbonates de calcium [15].

### **I.5.2 Classification fonctionnelle**

La majorité des biomatériaux utilisés de nos jours proviennent de recherches menées dans des laboratoires biologiques, où l'objectif est d'évaluer et parfois modifier des matériaux existants afin de leur attribuer de nouvelles fonctions. On peut classer ces matériaux en cinq grandes catégories :

#### **I.5.2.1 Les matériaux d'origine naturelle**

Dans le but d'assurer la biocompatibilité des implants, les chercheurs se sont orientés vers des matériaux d'origine naturelle, qui sont naturellement compatibles avec l'organisme. On peut citer parmi eux : la cellulose, la chitine, le corail naturel et le collagène [16].

**La cellulose :** est un glucide complexe qui est utilisé dans la fabrication de membranes de dialyse ou comme matériau de fixation pour les prothèses de main.

**La chitine :** est un polysaccharide dérivé des coquilles de crustacés, utilisé en chirurgie reconstructive et dans la fabrication de peau artificielle.

**Le corail naturel :** Les coraux possèdent un squelette dont la structure ressemble à celle de l'os cortical et spongieux, avec une porosité interconnectée. Ce matériau a été approuvé par la **Food and Drug Administration FDA** en 1992. L'hydroxyapatite cristallisée est obtenue par un échange hydrothermal, qui transforme le phosphate de calcium en une forme spécifique. Cette hydroxyapatite, connue sous le nom d'hydroxyapatite coralline, présente une structure très similaire à celle de l'os trabéculaire humain [17].

**Le collagène :** Le collagène est une protéine structurale, souvent sous forme fibrillaire, et d'origine animale ou humaine. Ses principaux avantages sont les suivants :

Il agit comme un produit hémostatique.

Il possède des propriétés mécaniques qui facilitent sa manipulation.

Il est essentiel au développement cellulaire.

Il est biodégradable.

-Il est utilisé dans plusieurs domaines, notamment :

En cosmétologie et chirurgie esthétique.

Comme pansement hémostatique en forme d'éponge.

Pour la reconstruction des tissus mous et durs, souvent sous forme de mélanges de collagène, facteur de croissance et hydroxyapatite [3].

**Les textiles :** Environ 10 % du volume mondial des textiles techniques est utilisé dans le secteur médical. Ces matériaux sont généralement conçus pour les bio-textiles, représentant ainsi une nouvelle génération de biomatériaux et de dispositifs implantables grâce à leurs applications récentes en orthopédie et odontologie [13].

### **Les polymères**

Les polymères sont des substances composées de grandes molécules, appelées macromolécules, qui se forment par la répétition d'unités de base appelées monomères.

Selon leur mise en œuvre et de leurs propriétés mécaniques, on distingue plusieurs types de **polymères** : les polymères thermoplastiques, les polymères thermodurcissables, les élastomères et les élastomères thermoplastiques [18].

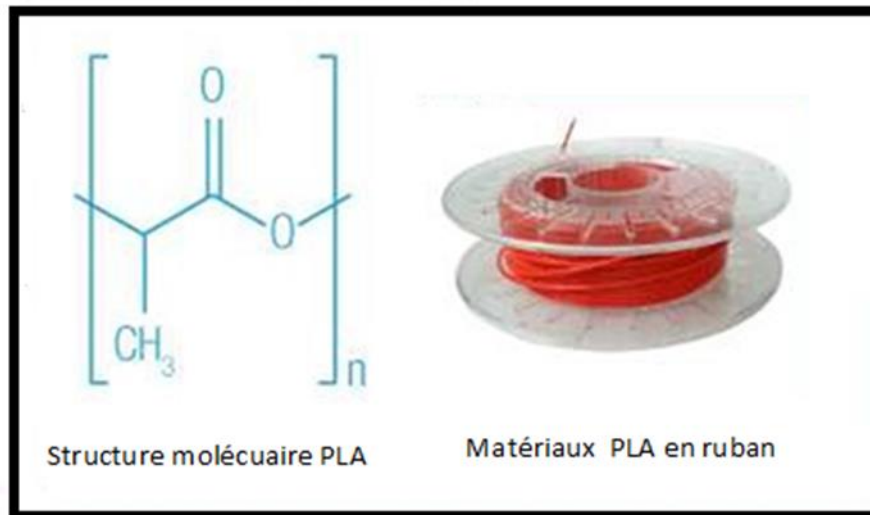
**Les polymères thermoplastiques :** Ces matériaux peuvent être facilement modifiés sous l'effet de la chaleur, ce qui permet de les déformer plastiquement. Ce processus est réversible, ce qui signifie qu'ils peuvent être remodelés plusieurs fois sans altérer leurs propriétés.

**Les polymères thermodurcissables :** Contrairement aux thermoplastiques, ces polymères ne peuvent pas être réutilisés ou recyclés. Une fois moulés et durcis par un processus chimique, leur forme devient permanente et ne peut plus être modifiée. Ils sont généralement plus rigides et résistants que les polymères thermoplastiques.

Parmi les polymères thermodurcissables utilisés en odontologie, nous retrouvons principalement le **PMMA**, le silicone et le polyuréthane

**Les élastomères :** Ces polymères se caractérisent par leur capacité à se déformer de manière significative sans se casser, puis à retrouver leur forme d'origine une fois la contrainte relâchée. Les plus courants sont la silicone et le polyuréthane, qui sont utilisés pour leurs propriétés de flexibilité et de résistance.

**Les élastomères thermoplastiques** : Cette catégorie de polymères combine les caractéristiques des élastomères (grande déformabilité) avec celles des thermoplastiques (recyclabilité). Cela permet à ces matériaux d'être modifiés à la chaleur tout en offrant une grande flexibilité [10].



**Figure I.2:** Représentation du PLA.

Les polymères possèdent diverses propriétés, telles que :

- Leur capacité à être biodégradables ou permanents.
- Leur flexibilité ou rigidité.
- Leur aptitude à prendre des formes très complexes.

Cependant, certains inconvénients sont associés aux polymères, notamment :

- Leur dégradation potentiellement catastrophique dans le corps, ou la production de dérivés toxiques.
- Leur tendance à se déformer avec le temps et à se détériorer lors de la stérilisation.
- Leur résistance généralement inférieure à celle des métaux et des céramiques.

La fabrication d'un polymère nécessite un processus appelé polymérisation, qui désigne la réaction chimique ou le procédé par lequel des petites molécules, appelées monomères, se lient pour former des chaînes polymères comme illustre la figure I.3.

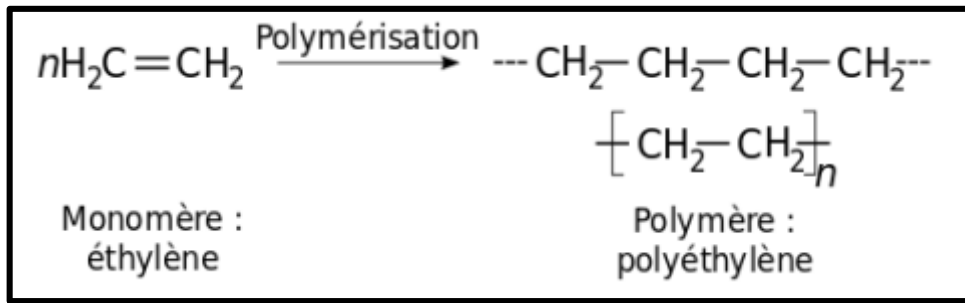


Figure I.3: Polymérisation [19].

#### I.5.2.4 Céramique

Les céramiques se distinguent par leur point de fusion élevé et leur comportement fragile, ce qui détermine leurs domaines d'application. Elles comprennent des matériaux comme les oxydes, sulfures, borures, nitrures, carbures, ainsi que des composés inter-métalliques. Parmi les céramiques les plus couramment utilisées, l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et la zircone ( $\text{ZrO}_2$ ) sont employées dans la fabrication des têtes fémorales des prothèses de hanche, ainsi qu'en odontologie pour la réalisation des implants dentaires comme montre la figure I.4.



Figure I.4: Couronnes dentaires en céramique [20].

Une différence majeure entre les métaux et les céramiques réside dans la fragilité de ces dernières. Contrairement aux métaux, les céramiques ne peuvent supporter que des déformations minimales, de l'ordre de quelques micromètres. Elles n'ont pas de plasticité, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent pas se déformer de manière permanente sous contrainte. Leur comportement est principalement élastique, avec un module de Young élevé, jusqu'à atteindre leur limite de rupture. Toutefois, bien que les céramiques puissent se casser de manière fragile, certaines d'entre elles sont capables de résister à des contraintes très élevées, ce qui les rend moins fragiles que d'autres matériaux [15-21].

**-Porcelaine** : La porcelaine est une céramique composée principalement de kaolin (un aluminosilicate hydraté) et de feldspath (un aluminosilicate).

**-Verre :** Le verre est un matériau minéral fabriqué à partir de silice. Il présente une structure vitreuse désordonnée, formée d'atomes de tailles très variées. Il est façonné par frittage et se distingue par une grande stabilité chimique, en raison des liaisons chimiques fortes, covalentes ou ioniques, qui unissent ses atomes. Cette caractéristique lui confère une excellente biocompatibilité. Cependant, les verres sont des matériaux fragiles, car ils ne présentent pratiquement aucune capacité de déformation plastique.

**-Céramiques dentaires :** la figure I.5 montre, La céramique dentaire utilisée dans cette étude est la céramique feldspathique.



**Figure I.5:** Bridge dentaire en céramique [13].

Les céramiques sont des matériaux inorganiques constitués d'oxydes, de carbures, de nitrures et de borures. Elles présentent des liaisons chimiques solides de type ionique ou covalent.

La fabrication des céramiques commence par l'utilisation d'une poudre de granulométrie appropriée, qui est ensuite agglomérée. L'étape suivante consiste à densifier et consolider cet agglomérat à l'aide d'un traitement thermique, appelé frittage. Le frittage est un procédé thermique, avec ou sans application de pression externe, permettant à un ensemble de particules individuelles ou à un matériau poreux de modifier ses propriétés afin de devenir plus compact. De nos jours, on considère également que ce processus de consolidation peut inclure des phénomènes tels que la cristallisation ou la prise hydraulique [22].

Le tableau ci-dessous présente les biomatériaux les plus fréquemment utilisés, classés selon leur domaine d'application :

Matériau	Applications médicales
<b>Cobalt-Chrome</b>	Implants articulaires, implants dentaires
<b>Titane (TA6V)</b>	Implants articulaires, plaques et vis d'ostéosynthèse, stimulateurs cardiaques, implants dentaires, chirurgie reconstructive
<b>Aciers inoxydables</b>	Pacemakers (électrodes), plaques et vis d'ostéosynthèse, agrafes médicales
<b>Polytétrafluoroéthylène (PTFE)</b>	Implants vasculaires, chirurgie faciale
<b>Silicone</b>	Implants mammaires, implants testiculaires, urologie, stimulateurs cardiaques (isolant), chirurgie faciale et de la main
<b>Polyéthylène</b>	Sutures, implants vasculaires
<b>Polyméthylméthacrylate (PMMA)</b>	Lentilles intraoculaires, ciment orthopédique
<b>Polyester</b>	Sutures, implants vasculaires
<b>Polypropylène</b>	Sutures, ligaments
<b>Polyamide</b>	Sutures
<b>Alumine</b>	Pacemakers (isolant), prothèses articulaires

**Tableau I.3:** Biomatériaux les plus couramment utilisés [23].

### **I.5.2.5 Les métaux et alliage métallique**

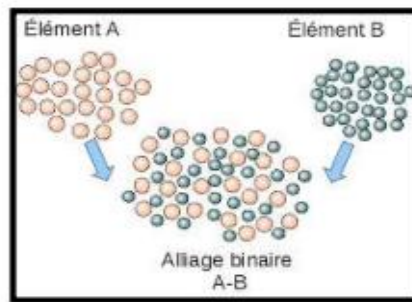
Les métaux peuvent être considérés comme les précurseurs des biomatériaux, étant les premiers utilisés pour la fabrication d'implants.

Parmi ces matériaux, l'acier inoxydable est de loin le plus utilisé en chirurgie orthopédique en raison de ses propriétés mécaniques exceptionnelles. Le titane, quant à lui, est particulièrement prisé pour les interventions en chirurgie orthopédique et la fabrication d'implants dentaires. On le retrouve aussi dans des dispositifs tels que les stimulateurs cardiaques et les pompes implantables. L'un des principaux atouts du titane réside dans sa biocompatibilité, qui permet à l'os de s'ancrer naturellement au matériau comme montre la figure I.6.



**Figure I.6:** prothèse adjointe métallique [24].

Les alliages à mémoire de forme, illustrés dans la figure I.7, représentent une autre option intéressante dans cette catégorie. D'autres alliages, tels que ceux à base de cobalt, chrome, molybdène et tantale, sont également couramment employés [25].



**Figure I.7:** Alliage [26].

Les matériaux métalliques trouvent de nombreuses applications, tant en médecine qu'en industrie. Le tableau ci-dessous présente les principales utilisations dans ces domaines.

matériaux	Applications biomédicales	Applications industrielle	Éléments
<b>Titane et alliages de titane</b>	Prothèses de la hanche Vis Implants dentaires	Aérospatiale Échangeurs de chaleur Bâtons de golf	Titane, aluminium, vanadium
<b>Nitinol</b>	Stents Filtres à veine cave Odontologie	Montures de lunettes	Nickel, titane
<b>Alliages de Cobalt-chrom</b>	Odontologie Prothèses de la hanche Valves cardiaques	Turbines Aérospatiale	Cobalt, chrome, molybdène, nickel, fer
<b>Aciers inoxydables</b>	Stents Vis et plaques de fixation Pompes, valves	Tuyauterie Électroménager Ustensiles de cuisine	Fer, chrome, nickel, manganèse, molybdène

**Tableau I.4 :** Applications biomédicales et industrielles des matériaux métalliques [27].

### I.5.2.6 Les matériaux composites

Les biomatériaux composites résultent de l'association de deux ou plusieurs matériaux aux propriétés distinctes. Cette combinaison permet d'obtenir un matériau nouveau, plus performant et efficace que les matériaux individuels pris séparément. L'un des principaux avantages de cette approche réside dans la résistance mécanique et chimique accrue, tout en offrant un matériau plus léger

Le processus par lequel la pâte de composite se transforme en matériaux dur utilisé notamment en odontologie comme illustré sur la figure I.8 est dû à la polymérisation de la matrice résineuse. Dans les composites photos polymérisables c'est la lumière ultraviolette ou visible qui est utilisée pour initier la polymérisation des composites [28].



Figure I.8: Exemple de restauration dentaire en résine composite [29].

### I.6 Propriétés physiques et mécaniques des matériaux composites

Les propriétés physiques et mécaniques des matériaux composites sont complexes à analyser, car elles dépendent du comportement d'un système hétérogène présentant une forte Anisotropie [30].

#### I.6.1 Lois des mélanges

Les lois des mélanges permettent, sous certaines conditions, d'estimer les propriétés globales d'un composite en fonction de la proportion de renfort qu'il contient.

La propriété d'un composite peut alors être estimée par la formule suivante :

$$P_c = V_R \times P_R + (1 - V_R) \times P_m \rightarrow (1)$$

Considérons les notations suivantes :

$P_m$  : Propriété de la matrice

$P_R$  : Propriété du renfort

$P_C$  : Propriété résultante du composite

$V_R$  : Fraction volumique du renfort

### b) Densité du composite

En utilisant cette même logique, on peut calculer la densité moyenne d'un composite.

Si  $\rho_m$  représente la densité de la matrice et  $\rho_R$  celle du renfort, alors la densité globale  $\rho_C$  du Composite s'exprime ainsi :

$$\rho_C = V_R \times \rho_R + (1 - V_R) \times \rho_m \rightarrow (2)$$

### c) Module de Young du composite

Lorsque deux matériaux ayant un comportement élastique linéaire sont combinés, le matériau composite qui en résulte reste élastique et linéaire. Si l'effort appliqué est parallèle à l'orientation des fibres, la déformation unitaire reste la même dans la matrice, le renfort et le composite :

$$\varepsilon_C = \varepsilon_M = \varepsilon_R \rightarrow (3)$$

Avec :

- $\varepsilon_C$  : déformation du composite

- $\varepsilon_M$  : déformation de la matrice

- $\varepsilon_R$  : déformation du renfort

Comme on peut le voir dans la figure I.9, la traction simple appliquée au composite montre que la déformation unitaire reste la même dans la matrice, le renfort et le composite lorsque l'effort est parallèle à l'orientation des fibres.

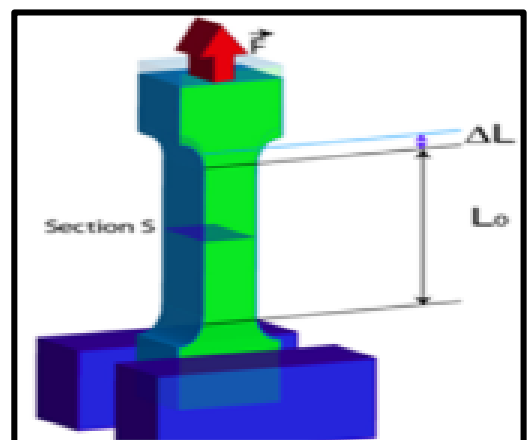


Figure I.9 : Traction simple [30].

Dans ce cas, on peut appliquer la loi des mélanges pour évaluer différentes propriétés mécaniques :

**-Le module de Young du Composite**

Il s'obtient en pondérant les modules de la matrice et du renfort par leur fraction volumique respective :

$$E_C = V_R \times E_R + (1 - V_R) \times E_M \rightarrow (4)$$

**-La limite d'élasticité du composite**

De la même manière, la limite élastique du composite peut être calculée à partir de celles de ses constituants :

$$Re_C = V_R \times Re_R + (1 - V_R) \times Re_M \rightarrow (5)$$

**-La résistance à la traction maximale du composite**

Comme on peut le voir dans la figure I.10, la courbe contrainte-déformation illustre la résistance à la traction maximale du composite, qui peut être estimée à partir des résistances respectives du renfort et de la matrice selon la loi des mélanges.

$$Rm_C = V_R \times Rm_R + (1 - V_R) \times Rm_M \rightarrow (6)$$

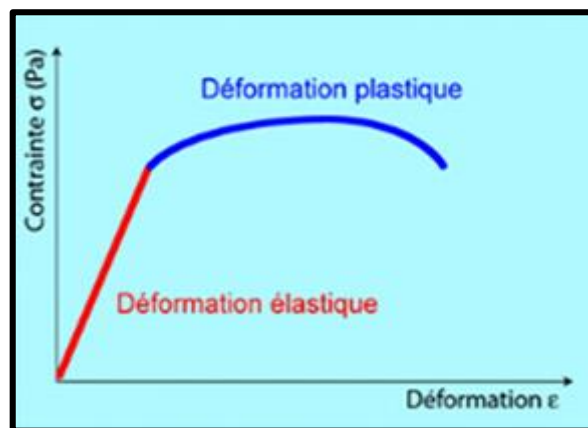


Figure I.10 : Courbe contrainte-déformation [30].

Enfin, dans le cas où la force est appliquée perpendiculairement au sens des fibres, on suppose que la contrainte est identique dans tous les éléments du composite :

$$\sigma_R = \sigma_M \rightarrow (7)$$

## **I.7 Les biomatériaux utilisés en odontologie (Exemple)**

Les biomatériaux dentaires sont des matériaux d'origine biologique (silicone, chitine, collagène) ou artificielle (céramiques, métaux, polymères) utilisés en odontologie et implantologie pour concevoir des composants, des dispositifs et des substituts. Leur principal objectif est d'interagir avec les tissus vivants sur une durée déterminée afin de restaurer ou améliorer leur fonction, sans compromettre l'équilibre de l'organisme.

En ingénierie tissulaire, leur classification repose sur leur nature (naturelle ou synthétique, résorbable ou non résorbable) ainsi que sur leurs propriétés physico-chimiques (composition, porosité, vitesse de dégradation) et mécaniques (module élastique, résistance aux forces de tension et de compression).

Bien que ce domaine soit en plein essor, l'identification et la caractérisation des biomatériaux dentaires restent essentielles. Ils doivent être évalués selon des critères précis : porosité, interconnectivité, chimie de surface et de masse, propriétés physiques et mécaniques, ainsi que leur interaction avec les cellules [3].

### **I.7.1 Les amalgames**

Un amalgame est un alliage constitué d'un ou plusieurs métaux associés au mercure. L'amalgame dentaire, en particulier, est une forme spécifique d'amalgame largement utilisée en odontologie comme illustré sur l'image ci-dessous figure I.11. Il résulte d'une réaction d'amalgamation entre le mercure et des particules d'un alliage contenant des proportions variables d'argent, de cuivre et d'étain. Typiquement, l'amalgame dentaire est composé de 70% d'argent, 26% d'étain et 4% de cuivre, le tout étant mélangé avec du mercure pour former ce qu'on appelle l'amalgame d'argent. En dentisterie, l'amalgame est principalement utilisé pour remplir les cavités créées par l'élimination des tissus dentaires endommagés par les caries, et il est parfois encore désigné sous le terme de plombage [3].



**Figure I.11 : les amalgames dentaires [3].**

Le tableau ci-dessous résume les principaux avantages et inconvénients des amalgames dentaires.

Avantages	Inconvénients
Excellente résistance mécanique, assurant une durabilité à long terme (souvent plus de 20 ans).	Plus dur que la dent, ce qui peut entraîner un risque de fracture de la dent en cas de reconstruction volumineuse.
Propriétés cariostatiques (effet bactériostatique).	Esthétiquement moins favorable.
Facilité d'utilisation et rapidité d'application.	Toxicité potentielle (libération de mercure, phénomène d'électro-galvanisme buccal)

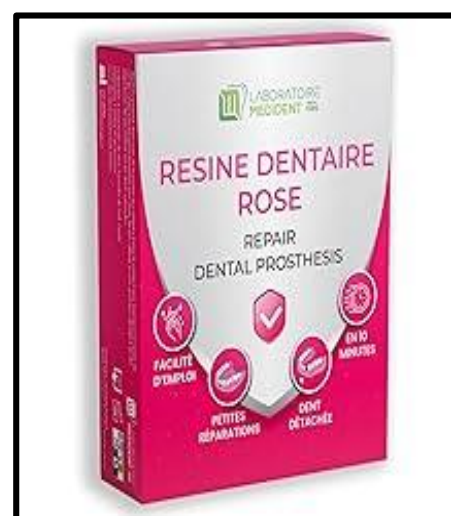
**Tableau I.5 :** Avantages et inconvénients des amalgames dentaires [3].

### I.7.2 les résines

Les résines sont des matériaux synthétiques, composés de substances non métalliques obtenues à partir de composants organiques illustrées aux figures I.12 et I.13, et qui peuvent être moulés sous différentes formes. Elles se présentent généralement sous forme de poudre (polymère) et de liquide (monomère). En odontologie, elles sont utilisées dans les domaines de la dentisterie réparatrice et conservatrice pour restaurer les dents endommagées, ainsi que pour la fabrication de prothèses dentaires amovibles [3].



**Figure I.12 :** résine blanche [3]



**Figure I.13 :** résine rose [3]

Parmi les différentes catégories de résines on distingue la résine acrylique

### I.7.2.1 la résine acrylique

Les résines acryliques sont les matériaux les plus couramment utilisés pour la fabrication des prothèses dentaires comme montre la figure I.14. Ce sont des résines synthétiques macromoléculaires appartenant à la large famille des matières plastiques. En général, des mélanges de polymères (copolymères) sont utilisés, ce qui permet d'une part d'améliorer la résistance mécanique et thermique, et d'autre part de réduire l'absorption d'humidité.

La formulation chimique de base des résines acryliques utilisées pour les prothèses adjacentes est le polyméthylméthacrylate **PMMA**.

Les résines acryliques se présentent sous forme de poudre et de liquide. Elles peuvent être classées en fonction du type de polymérisation du méthacrylate de méthyle, qui peut être activée par la chaleur, un agent chimique, un changement de concentration, ou encore par émission de radiations. Ces matériaux non métalliques sont fabriqués de manière synthétique à partir de composants organiques et peuvent être moulés sous différentes formes [32].



**Figure I.14:** prothèse dentaire à base de résine acrylique [32].

### I.7.2.2 les compositions de la résine

**-La poudre :** comme montré sur la photo I.15, Elle est généralement composée de copolymères de méthacrylates d'éthyle et de méthacrylates de méthyle, ou encore d'acrylate d'éthyle, avec la formule  $-\text{CH}_2\text{CHOO}-\text{C}_2\text{H}_5-$ . Parfois, des polyméthacrylates d'isobutyle sont également utilisés. On y ajoute souvent un catalyseur tel que du peroxyde de dibenzoyl ou du dioxyde de titane. Certaines poudres contiennent également des agents opacifiants, des colorants ou des agents antifongiques, comme des sels de zinc, fixés sur le polymère [3].



Figure I.15: La résine acrylique en poudre [33].

-**Le liquide** : comme montré sur la photo I.16, Il s'agit d'une solution alcoolique de plastifiants. Le plastifiant le plus couramment utilisé est le phtalate de butyle, un ester aromatique de formule  $C_6H_4(COOC_4H_9)_2$ . Plusieurs plastifiants peuvent être combinés dans une même préparation. L'alcool utilisé est généralement de l'éthanol, dont la proportion varie de 6% à 40%, ce qui modifie certaines propriétés du gel formé. Des essences aromatiques peuvent aussi être ajoutées pour donner un goût agréable au mélange. Lors de l'association de la poudre et du liquide, une pâte plastique se forme, permettant de la mouler selon la forme souhaitée [3].



Figure I.16: Résine acrylique liquide.

### I.7.2.3 Exigences d'une résine dentaire

Les critères essentiels pour une résine acrylique destinée à la fabrication de prothèses dentaires incluent :

- Le matériau doit offrir une translucidité permettant de reproduire l'apparence esthétique des dents qu'il remplace. Pour ce faire, il doit être teinté de manière appropriée.
- Il doit présenter une conductivité thermique élevée.
- La résine doit être inodore, sans goût et non toxique.
- Elle doit posséder une résistance à l'abrasion suffisante pour supporter l'usure normale.
- Elle doit être imperméable aux fluides buccaux pour éviter toute altération de goût ou d'odeur.
- Il ne doit y avoir aucune adhésion entre la résine et les aliments ou autres matières introduites dans la bouche, permettant ainsi son nettoyage comme pour les dents naturelles.
- La résine doit être complètement insoluble dans les fluides buccaux et dans toute substance susceptible d'être ingérée [34].

### I.8 La zircone

La zircone est un matériau avancé, souvent appelé « céramique-acier », reconnu pour sa biocompatibilité, sa solidité et ses excellentes propriétés mécaniques et esthétiques. D'abord utilisée dans l'industrie, elle a été adoptée en odontologie, notamment pour la fabrication de prothèses dentaires et de couronnes céramo-céramiques [35].

On trouve l'oxyde de zirconium ( $ZrO_2$ ) à l'état naturel sous forme de minerai rare appelé Baddeleyite comme montre la figure figure I.17.



**Figure I.17:** Baddeleyite naturel [35].

Le zircon (ou silicate de zirconium :  $ZrSiO_4$ ) est principalement utilisé comme biocéramique pour la fabrication de dispositifs médicaux, Est commercialisé sous forme brute, avec les propriétés mécaniques, physiques et thermiques mentionnée dans le tableau suivant [36].

Propriétés	Valeur
<b>Dureté</b>	11 à 16 GPa
<b>Résistance à la flexion</b>	550 à 1250 MPa
<b>Résistance aux chocs mécaniques (ténacité)</b>	6 à 13 K(Ic)
<b>Dilatation thermique</b>	10
<b>Conductivité thermique / Isolation thermique</b>	2 à 2,5 W/K/m
<b>Résistance aux chocs thermiques</b>	++
<b>Résistance aux températures extrêmes</b>	1000 à 2000 °C
<b>Inertie chimique</b>	+++
<b>Densité</b>	5,5 à 6
<b>Résistance à la compression</b>	1700 à 2500

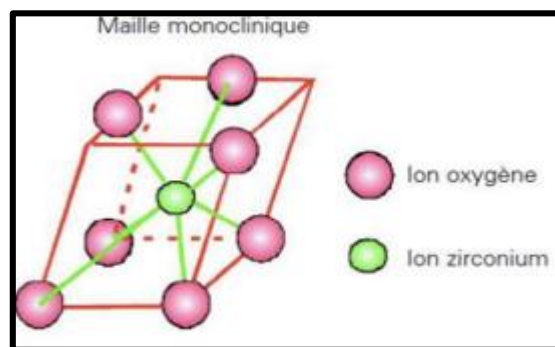
**Tableau I.6 :** Propriétés mécaniques, de l'échantillon de zircon [36].

### I.8.1 Les différentes formes cristallographiques

Les cristaux de zircon adoptent différentes structures en fonction de la température [37]

#### I.8.1.1 Monoclinique

Cette forme est stable à des températures comprises entre 0°C et 1170°C. Dans cet état, la zircon est constituée de tétraèdres associés à des structures parallélépipédiques comme montre dans la figure I.18.



**Figure I.18 :** Maille monoclinique zircon.

### I.8.1.2 Tétragonale

Cette forme métastable est observée entre 1171°C et 2370°C, où elle se compose de cristaux tétraonaux aux angles droits comme illustre dans la figure I.19.

Lors du refroidissement de la zircone, si elle n'a pas été stabilisée, elle subit une transformation de la phase tétraonale vers la phase monoclinique aux alentours de 950°C. Ce changement s'accompagne d'une expansion volumique d'environ 4 %, car les cristaux monocliniques sont plus volumineux que ceux en phase tétraonale, entraînant ainsi l'apparition de fissures.

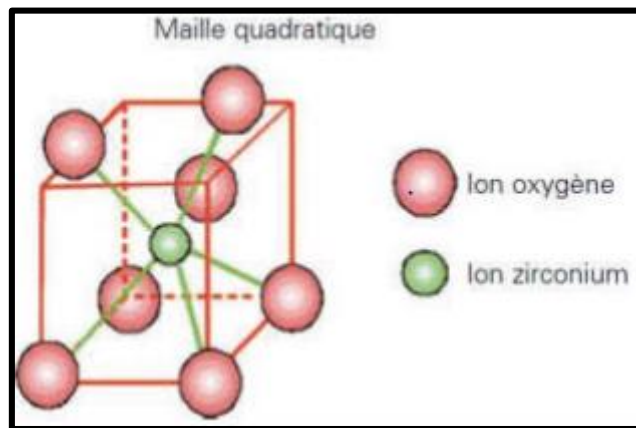


Figure I.19 : Maille quadratique de la zircone

Pour permettre son utilisation à température ambiante, il est indispensable de stabiliser la zircone en ajoutant des oxydes tels que l'oxyde d'yttrium ( $Y_2O_3$ ), l'oxyde de magnésium (MgO), l'oxyde de calcium (CaO) ou l'oxyde de cérium ( $CeO_2$ ).

En dentisterie, la zircone utilisée est principalement la zircone Y-TZP (Ytria-stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystal), c'est-à-dire une zircone partiellement stabilisée à l'yttrium. Cette forme est privilégiée car elle offre la meilleure résistance à la rupture après usinage et frittage.

### I.8.1.3 Cubique

Cette forme est observée entre 2371°C et 2690°C et se caractérise par des cristaux cubiques. Cependant, elle ne présente aucun avantage clinique justifiant son utilisation dans le domaine dentaire comme montre la figure I.20.

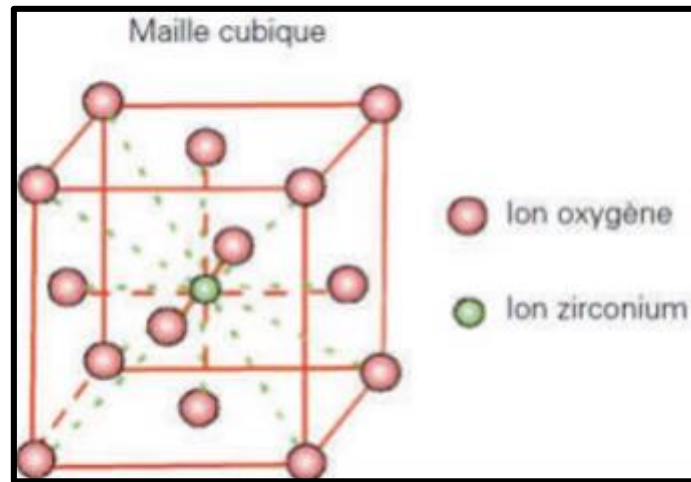


Figure I.20 : Maille cubique de la zircone

### I.8.2 Structure moléculaire de la zircone

La zircone ( $ZrO_2$ ) possède une structure moléculaire qui varie en fonction des conditions thermiques et de la stabilisation par des oxydes. Sa structure cristalline repose sur l'organisation des ions zirconium ( $Zr^{4+}$ ) et oxygène ( $O^{2-}$ ) dans le réseau cristallin [36].

#### I.8.2.1 la phase monoclinique

(0 à 1170°C), les ions  $Zr^{4+}$  sont coordonnés à sept atomes d'oxygène, formant une structure asymétrique. Cette disposition entraîne des contraintes internes, rendant la phase monoclinique plus sujette aux fissurations lors des changements de température comme illustre la photo figure I.21.

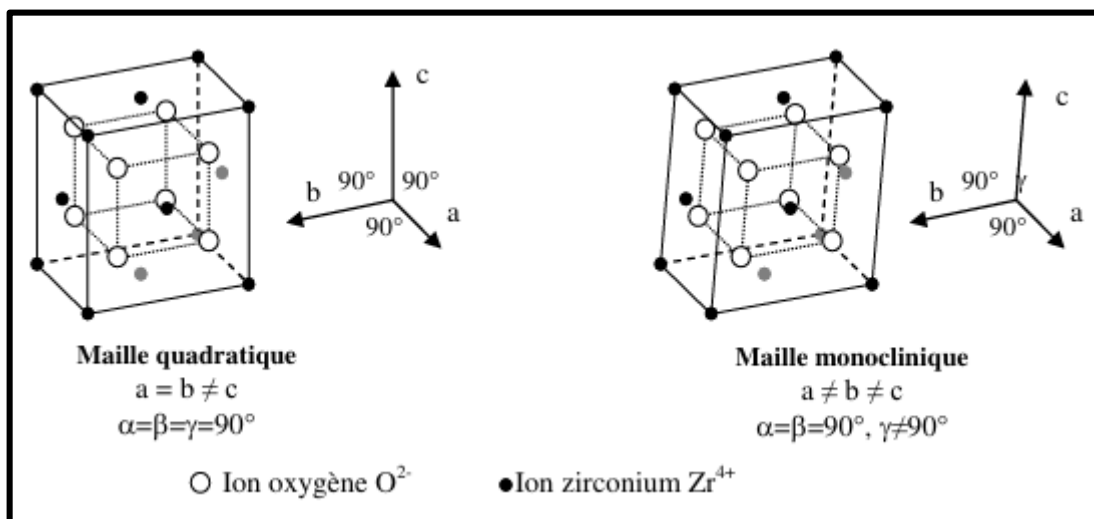


Figure I.21: Mailles quadratique et monoclinique de la zircone

### I.8.2.2 La phase tétragonale

(1171°C à 2370°C), la coordinence du zirconium passe à huit atomes d'oxygène, adoptant une structure plus régulière. Cette phase est métastable à température ambiante et tend à se transformer en phase monoclinique lors du refroidissement, sauf si des oxydes stabilisants sont ajoutés. Cette transition s'accompagne d'une augmentation de volume d'environ 4 %, ce qui peut engendrer des fissures dans le matériau.

### I.8.2.3 La phase cubique

(2371°C à 2690°C), les ions  $Zr^{4+}$  sont entourés de huit atomes d'oxygène de manière symétrique, ce qui confère une grande stabilité thermique mais une faible résistance mécanique. Cette structure n'est donc pas utilisée en dentisterie comme on peut la voir sur la figure I.23.

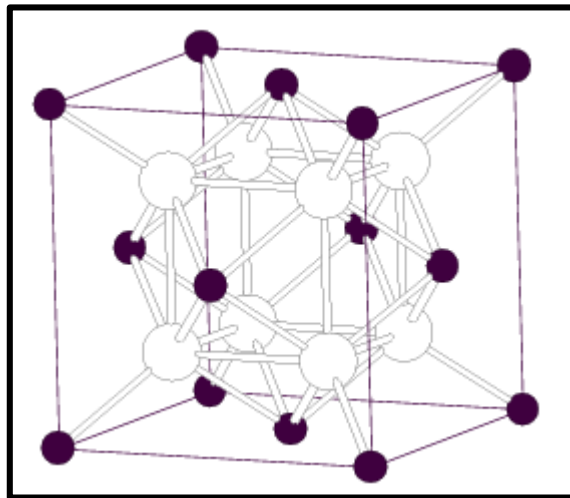


Figure I.22: Maille cubique de la zircone (structure fluorine)

### I.8.3 Effet des oxydes stabilisants

Pour préserver la phase tétragonale et améliorer les propriétés mécaniques de la zircone, des oxydes tels que l'oxyde d'yttrium ( $Y_2O_3$ ), l'oxyde de magnésium (MgO), l'oxyde de calcium (CaO) ou l'oxyde de cérium ( $CeO_2$ ) sont ajoutés. Ces stabilisants induisent des lacunes d'oxygène qui modifient la structure moléculaire en bloquant la transition vers la phase monoclinique. Ainsi, la zircone Y-TZP (Ytria-stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystal) est largement employée en dentisterie pour ses propriétés mécaniques optimales après frittage et usinage.

Cette stabilisation permet d'obtenir une poudre de zircone aux grains inférieurs à  $0,6 \mu m$  après frittage, évitant ainsi toute altération des propriétés cristallographiques et mécaniques du matériau.

## **I.9 Conclusion**

Grâce aux avancées scientifiques, les biomatériaux en odontologie ne se limitent plus à remplacer les structures endommagées : ils favorisent également la régénération osseuse et améliorent le confort des patients. Dans ce chapitre, nous avons étudié les généralités et les principaux biomatériaux utilisés, en détaillant leur classification, leurs propriétés et leurs diverses applications. Cette analyse nous a permis de constater qu'ils jouent un rôle fondamental dans la restauration dentaire grâce à leur durabilité et leur biocompatibilité.

Dans le chapitre suivant, il va porter sur l'anatomie et les prothèses dentaires, en décrivant leurs différents types, leur importance dans la réhabilitation fonctionnelle et esthétique des dents.

## Bibliographie

- [1] S. Ziani, « *Synthèse, Etude Physico-chimique et Comportement Microbiologique D'une Hydroxyapatite Modifiée Et Greffée Par La B-Cyclodextrine* » Thèse Doctorat, Université De Bejaia, 2015.
- [2] S.Yala, « *Modification De La Surface D'hydroxyapatite Par Greffage De Polymère (Polypyrrole)* » Mémoire De Magistère, Université A-Mira, 2010.
- [3] K. Laouari et S. Laouari, « *La fabrication des prothèses dentaires amovibles au centre Dentaire Denta-Smile à Boghni Tizi Ouzo* » Mémoire de Master, Département de Génie Biomédicale, Faculté de Génie Électrique et d'Informatique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 2023.
- [4] E. Alioua, « *Notions de base en biomatériaux, Service de prothèse dentaire* » Cours de Biomateriaux dentaires de 2<sup>e</sup> année, Université Salah Boubnider Constantine 3, Faculté de Médecine, Département de Médecine Dentaire, Année universitaire 2023-2024.
- [5] A.Mokaddem, et A.Boutaous, « *Structures et Propriétés des Biomateriaux* » cours en Ligne, USTO-MB, 2014/2015.
- [6] F. Z. Mezahi, « *Caractérisations physico-chimiques et Cinétique de bioactivité des Biomateriaux : Hydroxyapatite & Verre bioactif 52S4 élaboré par fusion et par voie Solgel* » Thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine, Algérie, (2009).
- [7] A. Boyer, « *Synthèse, Caractérisation Et Evaluation Biologique D'apatites Phosphocalciques Carbo- Silicatées* » thèse doctorat, Ecole Nationale Supérieure Des Mines De Saint Etienne, Avril 2014.
- [8] N. Vandecandelaere, « *Élaboration et caractérisation de biomateriaux osseux innovants à Base d'apatites phospho-calciques dopées* » Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, France, (2012).
- [9] S. Chibane et T. Kana, « *Biomateriaux à vocation de comblement osseux et de Revêtement Prothétique à base d'hydroxyapatite synthétisée par voie sol-gel* » Mémoire De Master, Département de Génie des Procédés, Université A. M. Oulhadj, Bouira, Algérie, 2020.
- [10] Institut des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives, Université de Biskra.
- [11] N. Vandecandelaere, « *Élaboration et caractérisation de biomateriaux osseux innovants À Base d'apatites phospho-calciques dopées* » Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, France, (2012).
- [12] W. Cao et L. L. Hench, « *Bioactive Materials, Ceramics International* » vol. 22, p. 493, 1996
- [13] M. Sifi, « *Comportement mécanique des biomateriaux : Application aux implants* »

*Dentaires* » Thèse de doctorat en sciences, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département de Mécanique, 21 juin 2018.

- [14] D. Mainard, et F. Gouin, et D. Chauveaux, et B. Loty, « *Les substituts osseux* » en 2001, Ed. Romillat,2001.
- [15] L. L. Hench, « *Bioactive ceramics in bioceramics: materials characteristics versus in Vivo Behaviour* » in *Bioceramics: Materials Characteristics Versus In Vivo Behaviour*, P. Ducheyne and J. Lemons, Eds., Annals of the New York Academy of Sciences, 1988, p. 54.
- [16] L. Sedel et C. Janot, *Biomatériaux*, Rapport CNRS.
- [17] T. Yacine et O. Talabouzrou, « *Réalisation des prothèses dentaires amovibles (Polyclinique Medouha)* » Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Département d'Électronique, 2022.
- [18] N. Holy, et M. Paquot, et P. Dubois, « *Les polymères issus du végétal : matériaux à Propriétés spécifiques pour des applications ciblées en industrie plastique* » *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, vol. 10, pp. 185–196, 2006
- [19] Z. Brahimi et T. Berkane, « *Réalisation d'une Prothèse myoélectrique d'un bras avec L'impression 3D* » Mémoire de Master, Univ. Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Fac. Génie Électrique et Informatique, Dép. d'Électronique, Algérie, 2021.
- [20] Dentiste92, « *Couronnes céramiques* »
- [21] J. M. Poujade, et C. Zerbib, et D. Serre, « *Dental Ceramics* » in *EMC-Dentisterie 1*, pp. 101-117, 2004.
- [22] W. D. Callister, « *Science et génie des matériaux* » Collection Sciences Sup, p. 800, 2003.
- [23] W. Cao et L. L. Hench, « *Bioactive Materials* » *Ceramics International*, vol. 22, p. 493, 1996.
- [24] Laboratoire dentaire LMP, « *Prothèses adjointes métalliques* » Labo LMP.
- [25] J.H. Lee, et N.G. Rim, et H.S. Jung, et H. Shin, « *Control of osteogenic differentiation And mineralization of human mesenchymal stem cells on composite nanofibers Containing poly [lactic- co- (glycolic acid)] and hydroxyapatite* » *Macromol. Biosci.*, vol. 10, no. 2, pp. 173-182, 2010].
- [26] ConcepTEK.net, « *Les alliages métalliques* » ConcepTEK.net.
- [27] H. Hamou, « *Initiation aux biomatériaux*, photocopié universitaire » Université de Batna 22 avril 2020.

- [28] Y. Djebbloun, « *Cours sur les biomatériaux, Chapitre I : Généralités sur les matériaux Composites* » Université de Biskra.
- [29] Dr. A. Arfa, « *LES RÉSINES COMPOSITES* » cours, encadré par Dr. Khlaifia, Université de Sétif
- [30] L. Mettouchi, Mémoire de fin d'étude « *influence de la charge particule de Cuivre et des renfort couches de fibres sue le comportement mécanique d'un composite* »
- [31] P. Christel, et A. Meunier, M. Heller, et J. P. Torre, et C. N. Peille, « *Mechanical Properties and short-term in vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized Zirconia* » J. Biomed. Mater. Res., vol. 23, pp. 45–61, 1989.
- [32] S. Aribi et M. Malki Achraq, « *Polymérisation des dentiers à base d'une résine Acrylique* » Mémoire de Master Académique, Département de Chimie, Université Chaahid Hamma Lakhdar, El-Oued, 2019.
- [33] « *Good Adhesion Methacrylate Solid Acrylic Resin for Metallic Paint* » French Resin-WQ.
- [34] J. J. Guyonnet, et J. Champion, et G. Grégoire, et B. Grosogeat, et P. Millet, et F. Moya, Et P.Rocher, « *Les alliages dentaires, Association Dentaire Française* » Paris, ch. 6, pp. 47-51, 2004.
- [35] Groupe II de la Rotation Prothèse Dentaire, « *La Zircone et Ses Applications en Prothèse Dentaire* » Mémoire de fin d'étude, Université Constantine 3, Faculté de Médecine, Département de Médecine Dentaire, encadré par Dr N. Benhasna, juin 2014.
- [36] A. Drid, « *Modélisation du comportement biomécanique des biomatériaux : Application Aux implants dentaires* » Mémoire de Master, Université Echahid Echikh Larbi Tebessi Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de Génie Mécanique, 2023-2024.
- [37] M. Salodini, « *La zircone en prothèse fixée postérieure : Intérêts et limites de la Conception et fabrication assistée par ordinateur* » Thèse de doctorat en chirurgie Dentaire, Aix-Marseille Université, École de Médecine Dentaire, 7 décembre 2021.



**Chapitre 02**  
**L'anatomie dentaire et les**  
**prothèses en odontologie**

### II.1 Introduction

La conception d'une prothèse dentaire efficace repose sur une connaissance approfondie de l'anatomie dentaire, des fonctions bucco-dentaires et des caractéristiques des différents types de restaurations. Dans le cadre de notre travail, nous avons jugé essentiel d'intégrer ces notions fondamentales afin de garantir la compréhension globale des exigences cliniques, fonctionnelles et esthétiques auxquelles doivent répondre les prothèses dentaires.

Dans ce chapitre, nous présentons les structures dentaires internes et externes, les tissus de soutien, ainsi que la classification des dents en fonction de leur rôle et de leur évolution. Nous avons également analysé les principales fonctions assurées par la dentition, telles que la mastication, la phonation, l'esthétique ou encore la respiration.

Nous y exposons ensuite les différents types de prothèses dentaires – fixes, amovibles et implantaire – en détaillant leurs indications, leurs particularités techniques et leurs matériaux. Ce chapitre comprend également les examens radiologiques indispensables à la conception prothétique, ainsi qu'une introduction aux procédés numériques utilisés aujourd'hui dans la fabrication des prothèses.

### II.2 Anatomie dentaire : Synthèse et éléments clés

L'anatomie dentaire implique l'étude de la structure, de la fonction et des différentes parties de la dent. Chaque dent se compose de plusieurs structures visibles et internes, qui jouent un rôle crucial dans la mastication, la phonation et la santé bucco-dentaire. Cette section est une présentation détaillée de la dent et de ses composants, à la fois internes et externes.

#### II.2.1 La structure externe de la dent

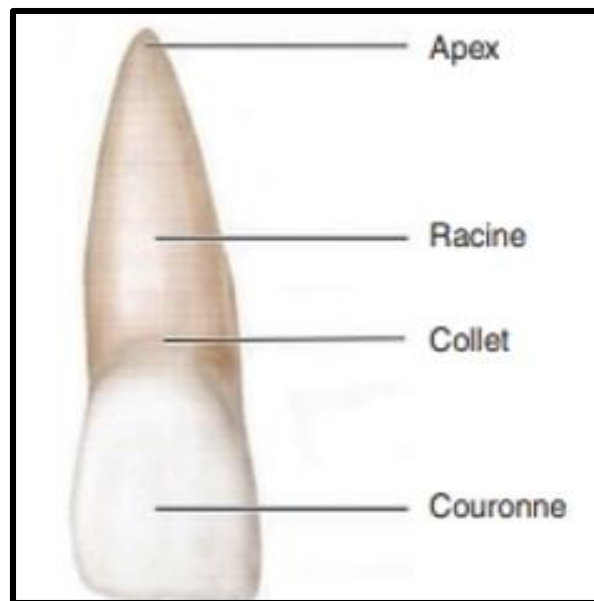
Les éléments externes de la dent montrés dans la figure II.1, comprennent la partie visible dans la bouche ainsi que des structures protectrices essentielles, on distingue principalement trois parties :

**1- La couronne:** La couronne est la partie visible de la dent, située au-dessus de la gencive. Elle est recouverte d'**émail**, la substance la plus dure du corps humain, qui protège la dent contre les agressions externes telles que les caries et l'usure. Sous l'émail

se trouve la **dentine**, un tissu moins dur mais beaucoup plus volumineux, qui forme la majeure partie de la dent [1].

**2- La racine:** La racine est la partie qui ancre la dent dans l'os alvéolaire de la mâchoire. Elle est recouverte de **cément**, qui aide à stabiliser la dent. Le nombre de racines varie selon le type de dent (les incisives et canines en ont une, les prémolaires en ont deux, et les molaires en ont trois ou plus) [1].

**3- Le collet:** Cette zone se situe à la jonction entre la couronne et la racine. Le collet est souvent plus vulnérable car il est recouvert de **cément**, un matériau plus fragile et sensible aux attaques bactériennes. La récession gingivale peut exposer cette zone, rendant la dent plus susceptible aux caries et à d'autres pathologies [2].



**Figure. II.1:** Anatomie externe d'une dent monoradiculée [3].

### II.2.2 La structure interne de la dent

La structure interne de la dent est constituée de plusieurs éléments vivants qui assurent la nutrition, la sensibilité et la vitalité de la dent, on distingue quatre parties :

**1- La pulpe dentaire:** Située au centre de la dent, la pulpe est un tissu conjonctif vivant riche en nerfs et en vaisseaux sanguins. Elle est responsable de la sensation (notamment

de douleur) et de la nutrition de la dent. La pulpe remplit une fonction essentielle en maintenant la dent en vie et en facilitant la réaction face aux stimuli externes [1].

**2- L'apex:** L'apex est l'extrémité de la racine de la dent. Il constitue le point de connexion entre la racine et les tissus environnants. L'apex est une zone sensible, et toute infection ou inflammation dans cette zone peut entraîner des douleurs et des complications graves, telles que des abcès. L'apex est donc d'une grande importance dans le cadre des traitements endodontiques [1].

**3- Le canal radiculaire:** Le canal radiculaire est l'espace situé à l'intérieur de la racine, contenant la pulpe. Il s'étend de la cavité pulpaire centrale jusqu'à l'apex de la racine. Ce canal est crucial pour la circulation des nerfs et des vaisseaux sanguins dans la dent. Une infection de la pulpe peut conduire à un traitement de dévitalisation, où la pulpe est retirée et remplacée par un matériau de remplissage [2].

**4- La dentine:** Sous l'émail, la dentine forme le cœur de la dent. Elle est composée de millions de petits tubules microscopiques qui permettent à la dent de réagir aux stimuli externes tels que le froid, la chaleur et la pression. Bien qu'elle soit plus fragile que l'émail, la dentine joue un rôle crucial dans le maintien de la dentition en la protégeant des agressions internes [2].

### II.2.3 Les tissus de soutien

Outre la dent elle-même, plusieurs tissus soutiennent la dent et assurent son maintien dans la bouche comme montre la figure II.2, les deux principaux sont :

**1- Les gencives:** Les gencives sont des tissus mous qui entourent la base des dents et les protègent. Elles aident à maintenir les dents en place et protègent les racines de l'infection. Des gencives saines sont cruciales pour la longévité de la dent et le succès des implants dentaires ou autres traitements de restauration [2].

**2- L'os alvéolaire:** L'os alvéolaire est l'os qui soutient les racines des dents. Ce tissu osseux joue un rôle essentiel en maintenant les dents dans la mâchoire et en fournissant un ancrage solide. Il peut se résorber lorsque la dent est perdue, ce qui nécessite des interventions comme la pose d'implants dentaires pour restaurer l'os perdu [1].

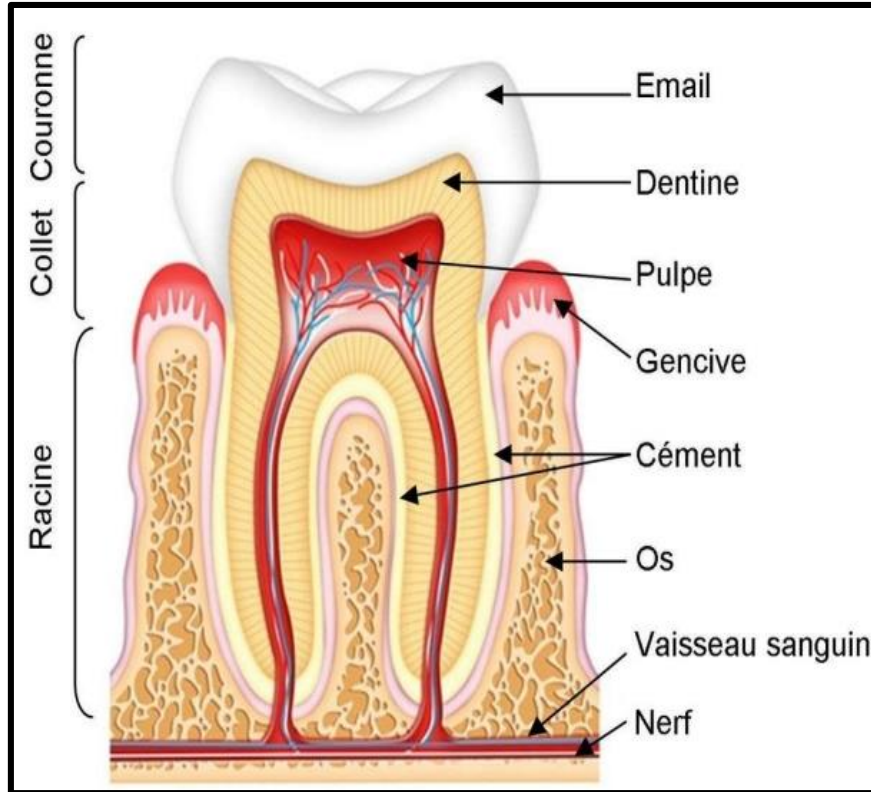


Figure II.2: Coupe sagittale de l'organe dentaire [4].

#### II.2.4 Les différentes classes de dents

Chaque classe de dents, montré dans la figure II.3, se caractérise par un rôle particulier. Il en existe quatre :

**1- Les incisives:** Situées à l'avant des arcades dentaires, elles ont un bord tranchant permettant de couper les aliments. Elles sont localisées dans les secteurs antérieurs des maxillaires.

**2- Les canines:** Elles se trouvent juste après les incisives. Pointues et robustes, elles servent à déchirer les aliments. Leurs positions stratégiques leur confèrent un rôle important dans le guidage des mouvements de la mâchoire.

**3- Les prémolaires:** Placées entre les canines et les molaires, elles ont une double fonction : couper et broyer les aliments. Elles possèdent au moins deux cuspides (pointes) et participent à la stabilisation de l'arcade dentaire.

**4- Les molaires:** Situées à l'arrière des arcades dentaires, elles ont une grande surface occlusale avec plusieurs cuspides. Leur rôle principal est de broyer les aliments pour faciliter la digestion [5].

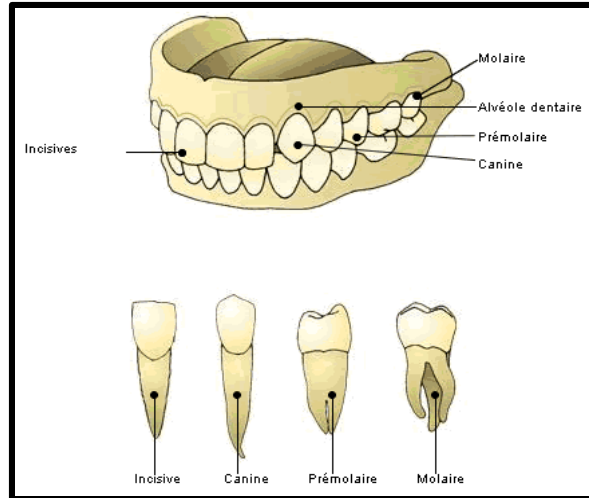


Figure II.3: Classes des dents [6].

### II.2.5 Les différents types de dents

L'anatomie dentaire se divise en deux types de dentitions : temporaire et permanente, selon l'âge et la durée de leur présence en bouche, que nous décrivons ci-après :

#### II.2.5.1 Les dents temporaires

La dentition temporaire correspond à la formation des arcades dentaires provisoires, en ajustant leur taille et leurs rapports. Elle dure environ 5 à 6 ans, de la calcification de la première dent temporaire à l'éruption de la première dent permanente. À la naissance, les germes des dents temporaires sont présents dans les maxillaires, mais aucune dent n'est visible dans la bouche, sauf dans de rares cas. La dentition temporaire comprend 20 dents : 8 incisives, 4 canines, 8 molaires [5], comme montre dans la figure ci-dessous :

TABLEAU DE DENTITION		Âge de « sortie »	Âge de « tombée »
20 dents temporaires (de lait)			
Dents supérieures	(Incisive latérale supérieure)	7-12 mois	6-8 ans
	(Incisive centrale supérieure)	9-13 mois	7-8 ans
	(Prémolaire latérale supérieure)	16-22 mois	10-12 ans
	(Molaire latérale supérieure)	13-19 mois	9-11 ans
Dents inférieures	(Molaire latérale inférieure)	25-33 mois	10-12 ans
	(Prémolaire latérale inférieure)	20-31 mois	10-12 ans
	(Incisive latérale inférieure)	12-18 mois	9-11 ans
	(Incisive centrale inférieure)	16-23 mois	9-12 ans
Information fournie à titre indicatif seulement : le rythme de croissance de chaque enfant varie.		7-16 mois	7-8 ans
		6-10 mois	6-8 ans

Figure.II.4 : Dents d'un enfant [4].

## Chapitre II : L'anatomie dentaire et les prothèses en odontologie

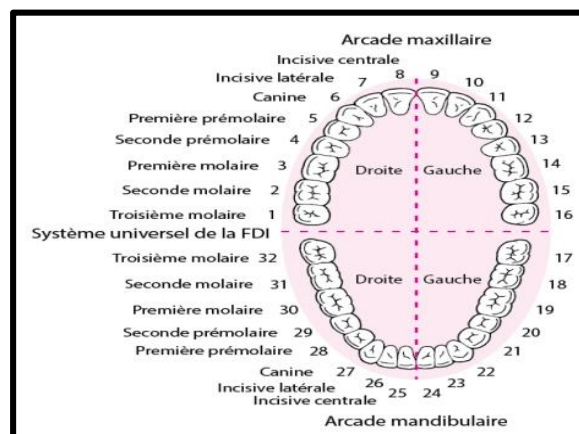
Le tableau ci-dessus illustre l'âge d'éruption et d'exfoliation des dents temporaires selon leurs types et leurs positions, mettant en évidence la séquence normale de leurs développements :

Type de dents	Âge d'éruption	Séquence d'éruption	Âge de perte (exfoliation)
<b>Dents Supérieures</b>			
Incisives centrales	8 – 12 mois	1	6 – 7 ans
Incisives latérales	9 – 13 mois	2	7 – 8 ans
Canines	16 – 22 mois	4	10 – 12 ans
1ères molaires	13 – 19 mois	3	9 – 11 ans
2èmes molaires	25 – 33 mois	5	10 – 12 ans
<b>Dents Inférieures</b>			
Incisives centrales	6 – 10 mois	1	6 – 7 ans
Incisives latérales	10 – 16 mois	2	7 – 8 ans
Canines	17 – 23 mois	4	9 – 12 ans
1ères molaires	14 – 18 mois	3	9 – 11 ans
2èmes molaires	23 – 31 mois	5	10 – 12 ans

**Tableau II.1:** L'éruption et l'exfoliation des dents temporaires en fonction de leurs types et de leurs positions [7].

### II.2.5.2 Les dents permanentes

La dentition permanente correspond à la période durant laquelle les phénomènes de croissance aboutissent à la formation des arcades dentaires définitives.



**Figure.II.5:** Dents d'un adulte [4].

## Chapitre II : L'anatomie dentaire et les prothèses en odontologie

La dentition permanentes s'étend sur environ vingt ans, depuis le début de la calcification de la première dent permanente jusqu'à l'éruption de la dernière.

La principale distinction entre la dentition temporaire et la dentition permanente réside dans le remplacement de cinq dents temporaires par cinq dents permanentes dites diaphysaires, ce qui nécessite un synchronisme précis dans l'ordre d'éruption.

Chez l'adulte, la dentition permanente comprend généralement 32 dents : 8 incisives, 4 canines, 8 prémolaires, 12 molaires (y compris les 4 dents de sagesse) [5].

Ce tableau indique la chronologie d'éruption des dents permanentes en fonction de leurs types

Type de dents	Âge d'éruption	Séquence d'éruption
<b>Dents supérieures</b>		
Incisives centrales	7 – 8 ans	2
Incisives latérales	8 – 9 ans	3
Canines	11 – 12 ans	6
1ères prémolaires	10 – 12 ans	4
2èmes prémolaires	10 – 12 ans	5
1ères molaires	6 – 7 ans	1
2èmes molaires	12 – 13 ans	7
3èmes molaires	17 – 21 ans	8
<b>Dents Inférieures</b>		
Incisives centrales	6 – 7 ans	2
Incisives latérales	7 – 8 ans	3
Canines	9 – 10 ans	4
1ères prémolaires	10 – 12 ans	5
2èmes prémolaires	11 – 12 ans	6
1ères molaires	6 – 7 ans	1
2èmes molaires	11 – 13 ans	7
3èmes molaires	17 – 21 ans	8

**Tableau II.2:** L'âge moyen d'éruption des dents permanentes et leurs ordre d'apparition [7].

### II.2.6 Les fonctions des dents

Les dents remplissent plusieurs fonctions essentielles qui influencent la santé générale telles que :

**-La mastication** : les dents sont principalement utilisées pour broyer les aliments, facilitant ainsi la digestion. Les molaires et prémolaires sont particulièrement efficaces dans ce processus. Une mastication correcte est cruciale pour une bonne santé digestive.

**-L'esthétique** : les dents influencent fortement l'apparence du visage et du sourire. C'est pour cette raison qu'une prothèse dentaire bien conçue doit non seulement restaurer la fonction mais aussi l'aspect esthétique du patient.

**-La phonétique** : les dents jouent un rôle clé dans la production de certains sons, notamment les consonnes. Une bonne dentition est donc indispensable pour une articulation correcte et une parole claire [8].

Le schéma ci-dessous illustre le couloir dentaire fonctionnel, essentiel à une articulation correcte des sons :

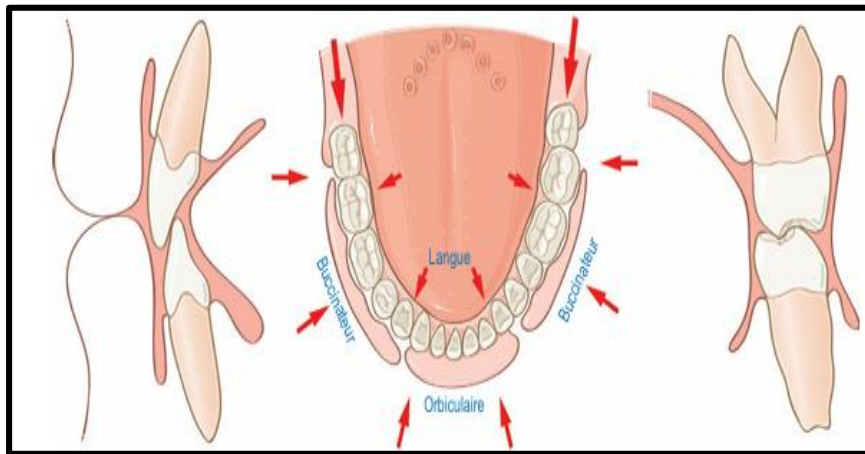


Figure II.6: Couloir dentaire fonctionnel [2].

## II.3 Généralités sur les prothèses dentaires

### II.3.1 Définition de la prothèse dentaire

La prothèse dentaire représente une solution artificielle destinée à remplacer partiellement ou entièrement une ou plusieurs dents perdues. Elle vise à restaurer l'équilibre fonctionnel du système manducateur, en rétablissant la capacité de mastication, la phonation, et l'esthétique du patient. En l'absence de dents naturelles, l'occlusion est perturbée, entraînant une surcharge traumatique sur les dents restantes, ce

qui peut conduire à leur mobilité. La prothèse dentaire permet de corriger ces déséquilibres, tout en contribuant au confort et à la santé de l'édenté [9].

### II.3.2 Classification des prothèses dentaires

Les prothèses dentaires se divisent en deux grandes classes, les prothèses amovibles (PA) et les prothèses fixes (PF), en fonction de leur mode de fixation et de leur stabilité en bouche :

#### II.3.2.1 Les prothèses amovibles (PA)

La prothèse amovible, aussi appelée prothèse adjointe, est un dispositif que le patient peut retirer et remettre à sa convenance. Elle est indiquée pour remplacer une ou plusieurs dents absentes et restaurer les fonctions essentielles du système bucco-dentaire, notamment la mastication, la phonation et l'esthétique, les prothèses amovibles peuvent être classées en deux types selon l'étendue de la perte dentaire :

**-Prothèse totale amovible:** Ce type de prothèse est spécifiquement conçu pour les patients totalement édentés. Réalisée en résine méthacrylique thermo-polymérisée, elle permet de restaurer l'ensemble d'une arcade dentaire en offrant un bon compromis entre fonctionnalité et accessibilité. Grâce à sa nature amovible, elle peut être retirée facilement pour l'entretien quotidien et l'hygiène bucco-dentaire.

Selon les besoins du patient et les indications cliniques, la prothèse totale amovible peut être réalisée sous deux formes :

**Sur implants:** Fixée sur des implants dentaires pour une meilleure stabilité et rétention comme montre la figure II.7.

**Sans implants:** S'appuie uniquement sur la gencive et le palais, nécessitant un bon ajustement pour assurer confort et tenue comme montre la figure II.8 [10].



**Figure II.7:** Prothèse totale amovible sur implant [11].



**Figure II.8:** Prothèse totale amovible sans implant [12].

**-La prothèse partielle amovible:** est une solution prothétique destinée à remplacer une partie de la dentition manquante. Elle s'appuie à la fois sur les dents naturelles restantes, grâce à des crochets, assurant ainsi sa stabilité et son maintien. Il en existe deux types principaux :

**La prothèse partielle coulée:** Réalisée en alliage métallique pour offrir une meilleure résistance et un ajustement précis, comme montre la figure II.9.

**La prothèse partielle conventionnelle:** Conçue principalement en résine, elle constitue une alternative plus économique, bien qu'elle soit généralement plus volumineuse et moins durable que la version coulée comme montre la figure II.10 [13].



**Figure II.9:** Prothèse partielle coulée [11].



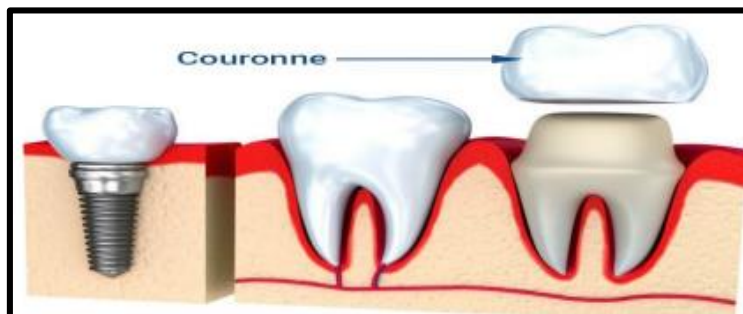
**Figure II.10:** Prothèse partielle conventionnelle [14].

### II.3.2.2 Les prothèses fixes (PF)

Également appelée prothèse conjointe, elle permet de restaurer ou de remplacer une ou plusieurs dents en s'appuyant sur les dents naturelles comme supports [11]. Les prothèses fixes regroupent plusieurs dispositifs conçus pour être scellés ou vissés de manière permanente en bouche, parmi lesquels on retrouve :

#### **La couronne dentaire**

La couronne dentaire illustré dans la figure II.11 est une prothèse qui recouvre la partie visible d'une dent, agissant comme une coque de protection. Elle est utilisée pour renforcer, restaurer ou améliorer l'esthétique d'une dent endommagée, fissurée ou détériorée. Une couronne peut également être fixée sur un implant dentaire afin de remplacer une dent absente. Ces prothèses sont fabriquées à partir de divers matériaux, notamment le métal, la céramique ou la zircone. Chaque couronne est conçue sur mesure pour s'adapter parfaitement à la dentition et assurer un confort optimal au patient [12].



**Figure II.11:** Couronne dentaire [15].

### Le bridge dentaire

Le terme "bridge" est d'origine anglaise et signifie "pont" en français. Un bridge dentaire est une prothèse destinée à remplacer une dent manquante en s'appuyant sur les dents adjacentes comme montre la figure II.12. Il est constitué d'une dent artificielle fixée entre deux couronnes qui recouvrent les dents situées de part et d'autre de l'espace édenté, créant ainsi un pont. Les bridges dentaires peuvent être fabriqués à partir de divers matériaux, notamment la porcelaine, la céramique, la zircone ou le métal [12].



Figure II.12: Bridge sur dents naturelles [12].

### La prothèse implantaire

Désigne un dispositif dentaire fixé sur un implant. L'implant dentaire est une racine artificielle insérée dans l'os, servant de support à une couronne ou à une prothèse dentaire. L'ensemble constitue ce que l'on appelle une prothèse implantaire [11], ci-joint trois figures qui illustrent en détail de ce dispositif :

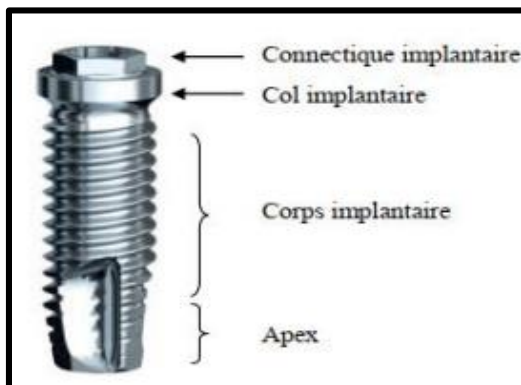


Figure II.13: Les parties de l'implant [16].

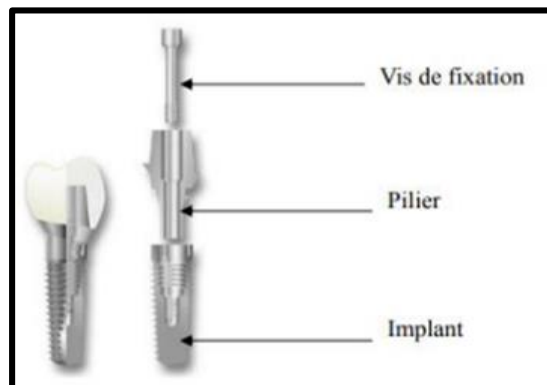


Figure II.14: Architecture de l'implant [16].



Figure II.15: Implant dentaire mis en bouche [15].

### II.3.3 La différence entre les prothèses dentaires fixes et amovibles

La prothèse fixe diffère de la prothèse amovible par plusieurs caractéristiques fonctionnelles et structurelles. Afin d'en souligner les spécificités propres à chaque type les principales différences sont récapitulé dans le tableau ci-dessous :

Prothèses Fixes	Prothèses Amovibles
<b>Conçues pour rester en place de manière permanente, elles ne peuvent pas être retirées par le patient.</b>	Destinées à être retirées par le patient, notamment pour le nettoyage ou pendant la nuit.
<b>Fixées à l'aide de couronnes, de bridges ou d'implants dentaires.</b>	Reposent sur la gencive et sont maintenues en place grâce à des crochets, des adhésifs ou des aimants.
<b>Offrent une excellente stabilité et une fonctionnalité optimale, car elles sont solidement ancrées dans la bouche.</b>	Plus abordables que les prothèses fixes, elles constituent une solution économique pour le remplacement de plusieurs dents manquantes.
<b>Améliorent la mastication et l'esthétique, car elles se rapprochent des dents naturelles.</b>	Peuvent être moins stables, ce qui peut impacter la mastication et la diction.
<b>Nécessitent une bonne hygiène bucco-dentaire pour leur entretien.</b>	Doivent être retirées régulièrement pour un nettoyage efficace.

Tableau II.3: La différence entre les prothèses fixes et les prothèses amovibles [6].

### II.3.4 Exigences d'une prothèse dentaire

Pour assurer son efficacité et son confort d'utilisation, une prothèse dentaire doit répondre à plusieurs critères essentiels telles que :

**La biocompatibilité:** Le matériau utilisé doit être compatible avec les tissus buccaux afin d'éviter toute réaction indésirable.

**La rigidité:** La prothèse doit être suffisamment rigide pour assurer une répartition uniforme des forces masticatoires

**L'adaptation parfaite:** Elle doit épouser avec précision et de manière durable les structures de soutien afin de garantir une stabilité optimale.

**La légèreté et hygiène:** Elle doit être légère, non poreuse, facile à entretenir et ne pas favoriser l'accumulation de débris alimentaires.

**L'esthétique:** L'aspect visuel doit être soigné afin de préserver l'harmonie du sourire et l'apparence naturelle des dents [11].



**Figure II.16:** Exemple d'une prothèse amovible totale qui répond aux exigences [17].

### II.3.5 Rôle de la prothèse dentaire

Les prothèses dentaires jouent un rôle essentiel dans le maintien de différentes fonctions bucco-dentaires. Voici les principaux rôles qu'elles assurent au quotidien :

**Dans la phonation:** La phonation correspond au langage articulé, qui résulte de la transformation de l'air expiré par les poumons en sons audibles. Ce processus débute au niveau des cordes vocales et est modulé par divers organes tels que la langue, les joues, le

palais, les lèvres et les dents. Ces structures interviennent dans la production des sons en modifiant leur timbre, leur intensité et leur articulation.

Les dents jouent un rôle fondamental en servant de barrières naturelles qui guident la langue et permettent une prononciation claire des voyelles et des consonnes. En cas d'édentation totale, cette fonction est altérée, entraînant des difficultés d'élocution, une altération de l'intelligibilité du discours et parfois même des problèmes de rétention salivaire. Selon Turner un dentiste pathologiste britannique du 19eme siècle, connu pour avoir décrit l'hypoplasie de l'émail des dents permanentes causés par des infections ou traumatismes des dents temporaires , si les prothèses sont bien conçues et que les dents artificielles sont positionnées de manière à reproduire l'agencement naturel des dents perdues, les difficultés de prononciation du patient seront considérablement réduites.

**Dans la mastication:** La mastication est le processus par lequel les aliments sont broyés, imprégnés de salive et préparés pour la déglutition. Chez l'homme, chaque type de dent joue un rôle spécifique dans cette fonction essentielle. Les incisives assurent la découpe des aliments dès leur entrée dans la cavité buccale. Les canines, plus robustes et pointues, facilitent la déchirure des morceaux plus résistants. Et, les molaires interviennent dans la phase finale en broyant et en réduisant les aliments en particules plus fines, à la manière de meules, afin de faciliter leur passage vers l'estomac. La restauration d'une mastication efficace constitue l'un des objectifs primordiaux de la prothèse dentaire, permettant ainsi d'améliorer la digestion et le confort du patient.

**Dans la gustation:** L'insertion d'une prothèse amovible complète au niveau du maxillaire entraîne une altération de la perception gustative. Bien que la voûte palatine soit inconsciemment associée au goût, elle ne contient pas de récepteurs gustatifs.

Par ailleurs, la température des aliments joue un rôle important dans l'expérience gustative. Or, la plaque prothétique en résine agit comme un isolant thermique, empêchant la transmission des sensations de chaud et de froid, ce qui peut modifier la perception des saveurs [11].

### **Dans la respiration:**

L'édentation totale entraîne une réduction de la dimension verticale d'occlusion ainsi qu'une diminution du volume intra-buccal. Cela provoque la perte de l'espace dorso-lingual, qui désigne l'espace libre situé entre la face dorsale (arrière) de la langue et le palais (ou voûte palatine) lorsque la bouche est au repos, et modifie ainsi la position de la langue. En raison de cet espace restreint, la langue se trouve contrainte par la crête alvéolaire et la contraction des lèvres, ce qui l'amène à adopter une position plus haute et plus reculée. Cette nouvelle posture linguale peut perturber la respiration nasale naturelle, en favorisant une respiration buccale, moins efficace et potentiellement problématique sur le plan fonctionnel et postural [11].

**Dans l'esthétique:** L'édentation a un impact esthétique notable, entraînant l'affaissement des tissus mous et l'accentuation des plis au niveau des sillons naso-géniens. La prothèse dentaire permet de préserver l'harmonie du visage en reproduisant la forme, la taille et la teinte des dents naturelles. Les dents, associées aux lèvres et aux muscles labiaux, jouent un rôle essentiel dans l'esthétique du sourire. L'esthétique odontologique est l'art, la pratique et la technique visant à recréer l'illusion de dents naturelles au sein d'une denture artificielle [11].

### **II.3.6 Les examens radiologiques indispensables pour la conception d'une prothèse dentaire**

Avant toute réalisation de prothèse dentaire, des examens radiologiques sont indispensables afin d'évaluer l'état des structures dentaires et osseuses. Parmi ces examens, on retrouve ces trois principaux :

#### **1-La radiographie panoramique (Orthopantomogramme - OPG)**

La radiographie panoramique, également appelée orthopantomogramme, est une technique d'imagerie dentaire extra-orale. Elle permet d'obtenir une vue globale des arcades dentaires et des structures avoisinantes sur un seul cliché (voir la Figure II.17), tout en nécessitant une faible dose de rayonnement (0,006 mSv).

Cet examen constitue un outil de première intention en imagerie dentaire et complète l'examen clinique [18].



**Figure II.17:** Exemple d'une orthopantomogramme [19].

### **Principe**

La radiographie panoramique est une technique d'imagerie en mouvement où le tube à rayons X et le film tournent autour de la tête du patient. Cette rotation permet d'obtenir une image globale des dents et des structures osseuses en maintenant une distance constante entre la source et les éléments à examiner.

L'image est obtenue grâce à un plan de coupe elliptique qui suit la forme des arcades dentaires. Toutefois, certaines zones situées en dehors de ce plan apparaissent floues. Un bon positionnement du patient est donc essentiel pour éviter les distorsions et obtenir un cliché net [18].

### **2-La radiovisigraphie (RVG)**

La RVG (Radiovisigraphie) est une technique de radiologie numérique qui se distingue par l'utilisation d'un capteur numérique intra-oral, permettant d'afficher instantanément le cliché radiographique sur un écran d'ordinateur (Voir la Figure II.18).

Comme en radiologie conventionnelle, elle repose sur l'atténuation des rayons X : l'image obtenue représente l'absorption du faisceau de rayons X après son passage à travers une structure du corps.

Contrairement à la radiologie classique qui utilise des films radiographiques, l'imagerie numérique capte les images à l'aide de capteurs plans ou de plaques photo stimulables. Ces images peuvent ensuite être traitées et archivées numériquement [20].



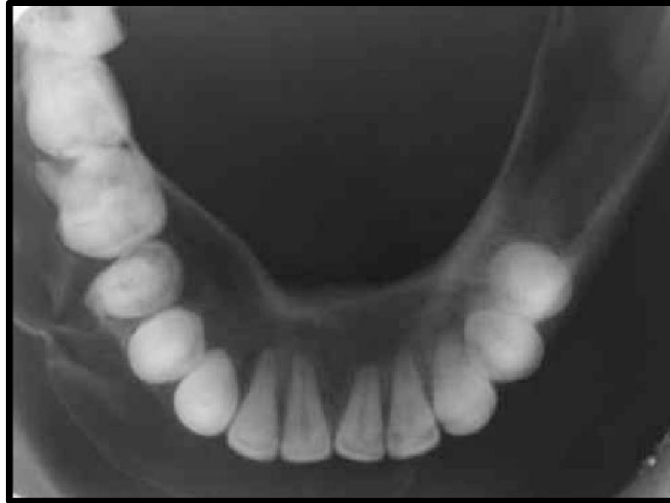
**Figure II.18:** Exemple du résultat d'une radiovisiographie [20].

### **Principe**

La radiovisiographie (RVG) repose sur l'absorption différenciée des rayons X à travers les structures dentaires. Lorsqu'un faisceau de rayons X traverse la dentition, un capteur numérique intra-oral capte l'image, remplaçant ainsi le film radiographique traditionnel. L'image obtenue est immédiatement convertie en signal numérique et affichée sur un ordinateur, où elle peut être optimisée grâce à des ajustements de contraste et de luminosité. Cette technologie permet une visualisation instantanée, une réduction de la dose de rayonnement et un meilleur archivage des clichés. Toutefois, un bon positionnement du capteur dans la cavité buccale est essentiel pour éviter les distorsions et garantir une image exploitable [20].

### **3-La radiographie occlusale**

La radiographie occlusale est une technique d'imagerie dentaire qui permet d'obtenir une vue détaillée des arcades dentaires en utilisant un film ou un capteur placé entre les mâchoires du patient (Voir la Figure II.19). Elle est particulièrement utile pour examiner la disposition des dents, détecter des anomalies comme des dents incluses, des fractures ou des lésions étendues, et évaluer la structure osseuse des maxillaires [21].



**Figure II.19:** Exemple d'une radiographie occlusale [22].

### **-Principe**

La radiographie occlusale est réalisée en insérant un film ou un capteur de grande taille dans la bouche du patient, qui le maintient en mordant légèrement. Le rayon X est dirigé de manière perpendiculaire au film pour capturer une image en coupe des structures dentaires et osseuses. Cette technique offre une visualisation claire de l'anatomie buccale et permet d'identifier des anomalies non visibles sur d'autres types de radiographies. Elle est particulièrement utile pour évaluer l'alignement dentaire, la présence de calculs salivaires et l'étendue des lésions osseuses [21].

### **II.4 Conclusion**

Ce chapitre nous a permis d'acquérir les bases essentielles concernant l'anatomie dentaire, les principes fondamentaux des différentes prothèses utilisées en odontologie, ainsi que l'importance de l'examen radiologique avant la conception et la pose d'une prothèse. Ces connaissances, relatives aux structures bucco-dentaires, à leurs fonctions et aux types de restaurations prothétiques, constituent un préalable indispensable à toute démarche de fabrication. Ces repères théoriques ouvrent la voie au chapitre suivant, consacré aux procédés numériques que sont l'usinage et l'impression 3D, des technologies innovantes appliquées à la conception et à la réalisation des prothèses dentaires.

### Bibliographie

- [1] J. B. Woelfel, «*Anatomie dentaire : Application à la pratique de la chirurgie dentaire*», 1re éd. Paris, France: Elsevier, 2007.
- [2] F. Tilotta ,G. Lévy et A. Lautrou, «*Anatomie dentaire*», Paris, France: Éditions Masson, 2010.
- [3] S. J. Nelson, «*Mémo-fiches d'anatomie dentaire*», Issy-les-Moulineaux, France : Elsevier Masson, 2012.
- [4] Y. Taous et O. Talabouzrou, «*Réalisation des prothèses dentaires amovibles* », Mémoire de Master, Département de Génie Biomédical, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie, 2022.
- [5] A. Lautrou, «*Anatomie dentaire*», (2<sup>e</sup> éd.), Paris, France: Masson, 2006.
- [6] K. Laouari et S. Laouari, «*La fabrication des prothèses dentaires amovibles*», Mémoire de Master, Département de Génie Biomédical, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie, 2022.
- [7] W. Hammadi, S. Hammouche, S. Kaci et A. Mouggari, «*L'inclusion de la canine supérieure* », Mémoire de Doctorat en Médecine Dentaire, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie, 2018.
- [8] M. Desmarest,«*L'utilité des dents et de leur conservation*», Paris, France : Hachette livre BNF,2013.
- [9] M. Pompignoli, J.-Y. Doukhan, et D. Raux, «*Guide clinique*», 4<sup>ème</sup> éd., Paris, 2005.
- [10] C. Lassauzay, J.-L. Veyrone, E. Nicolas, M.-A. Peyron, A. Woda et M. Hennequin, «*Mastication et édentement total* », *Stratégie prothétique*, no. 3, juin 2006.
- [11] M.Oussama et W. Djemai, «*L'Analyse de la motivation et du degré de satisfaction en prothèse adjointe totale*», Mémoire de doctorat, Département de médecine dentaire, Université Abou BekrBelkaïd,2015.
- [12] Yves Coppens, Le président du passée, «*L'actualité de l'histoire de l'homme*», Paris,Édition Odile Jacobs, 2009, 288p.
- [13] C. Pesci-Bardon, V. Pouyssegur et D. Serre, «*La pratique de la prothèse amovible complète : À propos d'une enquête auprès des praticiens du Var* », Cahiers de Prothèse, vol. 2000.
- [14] Cabinet Dentaire, «*La prothèse adjointe partielle*».

- [15] B. Yassamine, «*Modélisation et analyse numérique d'une couronne dentaire*», Mémoire de Master, Université Abou BekrBelkaïd, Tlemcen, Algérie, 2021.
- [16] S. Ghobali,, «*Optimisation de la géométrie et des dimensions d'un implant dentaire par une analyse tridimensionnelle*», Thèse de doctorat, Université de Batna, 2018.
- [17] Y. Ouali, L. Kerbouche, Z. Semaoui, Y. Rezoug, et A. Makhloufi, «*La caractérisation du montage en prothèse totale adjointe conventionnelle*», Projet de fin d'études, Département de Médecine Dentaire, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 2025.
- [18] S. Journeaux, «*La radiographie panoramique dans le dépistage des lésions bucco-dentaires : étude rétrospective au CHU de Nice*», Thèse de doctorat, Faculté de Chirurgie Dentaire, Université Nice-Sophia Antipolis, France, 2017.
- [19] G. Watts, «*Évaluation statistique rétrospective de l'état bucco-dentaire de la population lorraine portant sur 893 orthopantomogrammes*», Thèse de doctorat, Faculté d'Odontologie, Université Henri Poincaré - Nancy 1, France, 2011.
- [20] M. A. Bonnin, «*Utilisation de la radiovisiographie en dentisterie canine et féline*», Thèse de doctorat, Université Paul-Sabatier de Toulouse, 2009.
- [21] L. Merabet, «*Les explorations radiologiques en stomatologie*», Faculté de Médecine, Université Salah Boubnider Constantine 3, Département de Médecine Dentaire, Service de pathologie et chirurgie buccale, 2023-2024.
- [22] A. Kounta, A. Dieng, A. Ba, et al., «*Buccal exostoses*», *Literature review*, ResearchGate, 2016.



**Chapitre 03**  
**Les procédés numériques**  
**impression 3D et usinage**

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux procédés numériques qui occupent aujourd'hui une place centrale dans la fabrication des prothèses dentaires, à savoir **l'impression 3D** et **l'usinage**. Ces deux technologies, complémentaires dans leurs principes et leurs applications, constituent une avancée majeure dans le domaine de l'odontologie, en permettant une production plus précise, plus rapide et mieux adaptée aux besoins des patients.

Après avoir étudié, dans les chapitres précédents, les **biomatériaux**, l'**anatomie dentaire** et les différents types de **prothèses en odontologie**, nous abordons ici les fondements théoriques et techniques de ces procédés numériques. Ce chapitre sera ainsi structuré en deux grandes parties. La première portera sur **l'impression 3D**, en détaillant ses origines, ses techniques, ses matériaux, ainsi que ses applications dans le secteur dentaire. La seconde partie sera consacrée à **l'usinage**, procédé soustractif piloté par ordinateur, en expliquant ses types, ses équipements, ses avantages et ses évolutions récentes.

### Premier procédé numérique : L'impression 3D

#### III.2 Généralités sur l'impression 3D

##### III.2.1 Définition de la 3D

L'impression 3D est une technique de fabrication dite additive car elle procède par ajout de matière. Le point de départ est un fichier informatique qui représente numériquement l'objet en 3 dimensions, découpées en tranches. Ces informations seront envoyées à l'imprimante 3D qui va fabriquer la pièce par ajout de couches successives. Plus les couches seront fines, meilleures seront la précision et la définition de l'objet.

Cette méthode n'est pas employée dans l'industrie pour réaliser de grandes quantités de production mais elle est utilisée pour le prototypage, c'est-à-dire la conception et la mise au point de nouveaux objets qui seront ensuite produits en série via une autre méthode. C'est pourquoi elle nous intéresse particulièrement car dans le domaine dentaire toutes nos réalisations sont des prototypes uniques [1].

La figure III.1 ci-dessous présente les étapes fondamentales du procédé d'impression 3D, également appelé fabrication additive, commençant par la modélisation de l'objet en trois dimensions à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur **CAO**. Le modèle est ensuite converti en un fichier au format **STL**, qui sera découpé en couches numériques

successives. Ces couches servent de base à l'imprimante 3D pour construire l'objet final, par superposition de matière.

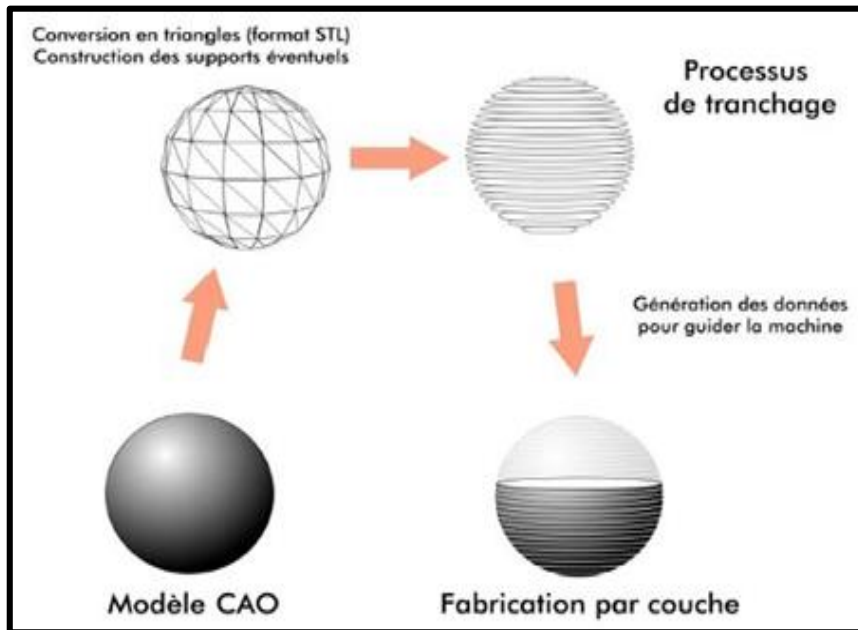


Figure III.1: Processus de fabrication additive [2].

### III.2.2 Les différentes méthodes d'impression 3D

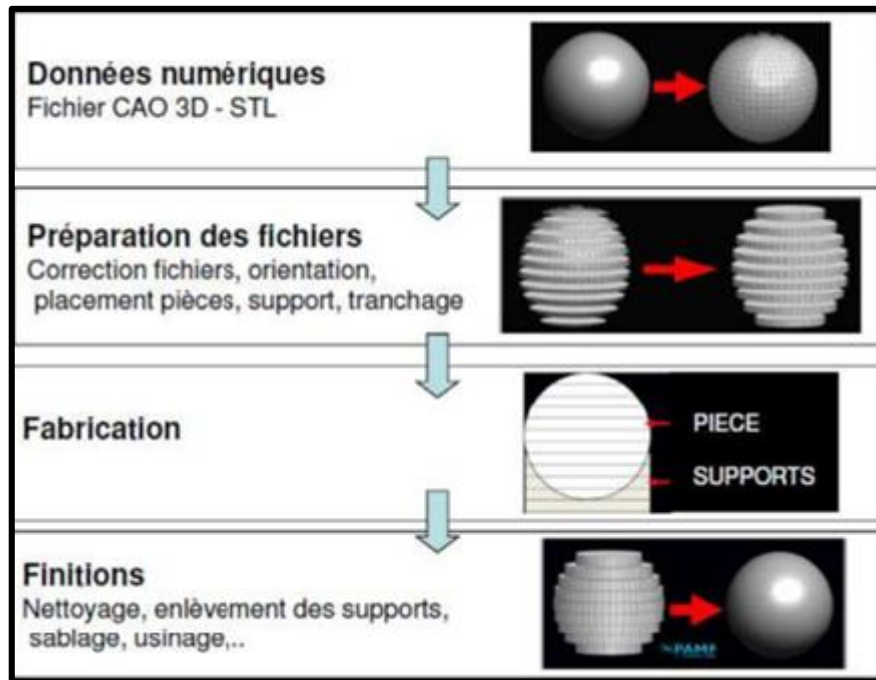
Il n'existe pas une seule et unique technique d'impression 3D, mais plusieurs, chacune avec ses variantes, nécessitant des équipements et des matériaux spécifiques. On peut regrouper ces techniques en trois grandes familles :

- L'impression 3D par photopolymérisation
- L'impression 3D par liage de poudre
- L'impression 3D par dépôt fondu de matière.

Malgré leurs différences, ces procédés partagent deux points communs essentiels :

- L'utilisation d'une commande numérique, qui permet le pilotage de l'imprimante 3D.
- La nécessité d'un modèle 3D, sous forme d'un fichier informatique. Ce modèle peut être obtenu par un scanner 3D, conçu à l'aide d'un logiciel de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) ou téléchargé sur des plateformes spécialisées.

Tous les modèles 3D sont enregistrés dans un format standardisé : le fichier STL ("Solid To Layer"), qui est actuellement le seul pris en charge par l'ensemble des imprimantes 3D. Il est donc impossible, à ce jour, d'imprimer un objet en 3D directement à partir d'un croquis ou d'une photo [3].



**Figure III.2:** Étapes de conversion des données Numériques pour l'impression 3D [3].

Nous allons maintenant détailler ces trois principales méthodes d'impression 3D, en présentant leur fonctionnement.

### III.2.2.1 L'impression 3D par photopolymérisation

Cette technique repose sur l'utilisation de polymères liquides photopolymérisables, appelés photopolymères, qui se solidifient sous l'effet de la lumière. Elle constitue le principe de base de plusieurs procédés d'impression 3D utilisés en dentisterie, notamment **SLA** Stéréolithographie, **DLP (Digital Light Processing)** et la technologie PolyJet, que nous détaillerons ci-après :

#### a-La stéréolithographie

Connue sous l'acronyme **SLA (Stereolithography Apparatus)**, la stéréolithographie est à l'origine de tous les procédés de prototypage rapide. Son premier modèle a été breveté en 1984 par Charles Hull, bien que le concept ait été initialement proposé en 1981 par le chercheur japonais H. Kodama [4].

Les différents composants d'une machine de stéréolithographie sont :

Un bassin de résine.

Une plateforme horizontale mobile (axe z).

Un système de raclage (axe x).

Un laser à rayons UV.

Une optique de focalisation.

Un miroir galvanométrique (axes x et y).

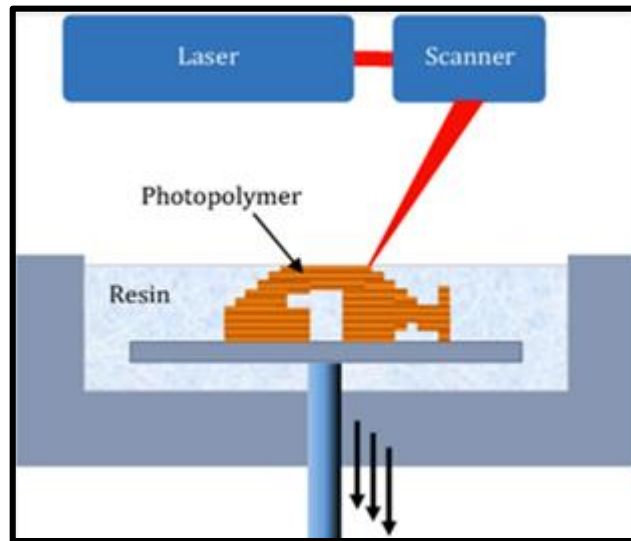


Figure III.3: Procédé SLA [5].

### Mode de fonctionnement

Une plateforme de support immergée dans une cuve de résine liquide photopolymérisable, sert de base à la construction de l'objet. Un faisceau laser balaie la surface de la résine, initiant la polymérisation qui transforme le monomère liquide en un polymère solide. Une fois la première couche durcie, la plateforme s'abaisse de quelques microns, permettant la formation d'une nouvelle couche. Ce processus est répété jusqu'à ce que l'objet soit entièrement fabriqué.

Une fois l'impression terminée, l'excès de résine est éliminé à l'aide d'un solvant, puis l'objet est soumis à un durcissement final dans un four à ultraviolet [6].



Figure III.4: Imprimante 3D SLA [5].

### b-La DLP

Cette technologie d'impression 3D a été développée par EnvisionTec en Allemagne pour les secteurs de la prothèse dentaire, de la bijouterie et des aides auditives. Elle utilise une puce optique dotée de millions de micro-miroirs, permettant une photopolymérisation rapide et une grande précision. Ce système est également employé dans les vidéoprojecteurs [7].

#### Mode de fonctionnement

Le logiciel de la machine traite le fichier **STL** de l'objet 3D en le découpant en couches très fines et en générant les supports nécessaires, fabriqués dans le même matériau. Chaque couche est projetée à la surface du bain de résine et polymérisée par des rayons UV, qui sont contrôlés par une puce et des micro-miroirs ajustant le passage de la lumière selon le tracé défini par l'ordinateur.

À chaque nouvelle couche, le plateau de construction s'élève selon l'épaisseur définie, jusqu'à l'obtention de l'objet complet montré dans la figure III.5. Une fois l'impression terminée, les supports sont retirés manuellement et la pièce est plongée dans de l'éthanol pour éliminer les résidus de matériau [8].

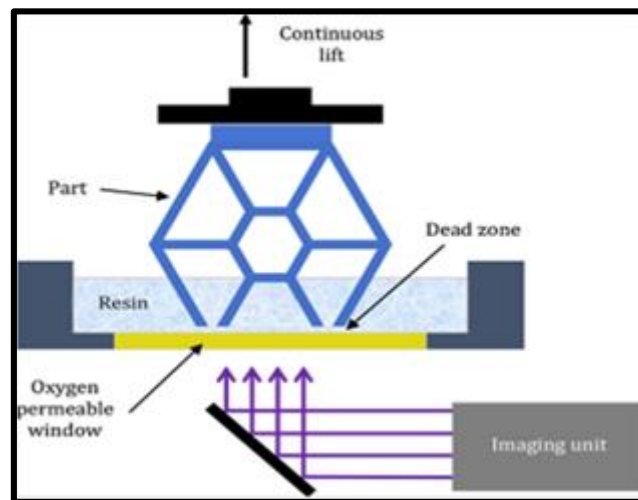


Figure III.5: Procédé DLP [8].

L'un des principaux avantages de cette technique est l'absence de déplacement de la lumière sur l'axe horizontal, ce qui permet une impression 2 à 5 fois plus rapide que la SLA [8].

### c-La technologie Polyjet

Cette technologie utilise également la photopolymérisation, mais selon un procédé différent de la SLA et du DLP [9].

### Mode de fonctionnement

Le procédé d'impression 3D PolyJet fonctionne de manière similaire à une imprimante à jet d'encre, mais au lieu de déposer de l'encre sur du papier, il projette des couches de photopolymère liquide durcissable sur un plateau de fabrication.

Tout commence par un logiciel de préparation qui analyse le fichier **STL** et détermine automatiquement la répartition des photopolymères et du matériau de support. L'imprimante injecte ensuite de minuscules gouttelettes de photopolymère liquide pour former la première couche, immédiatement durcie par un traitement **UV**. Ce processus se répète couche après couche, permettant de créer des modèles ou pièces 3D avec une grande précision.

Pour les structures complexes ou en surplomb, un matériau de support amovible est ajouté. Celui-ci peut être retiré facilement à la main, à l'eau ou dans un bain de solution [3].

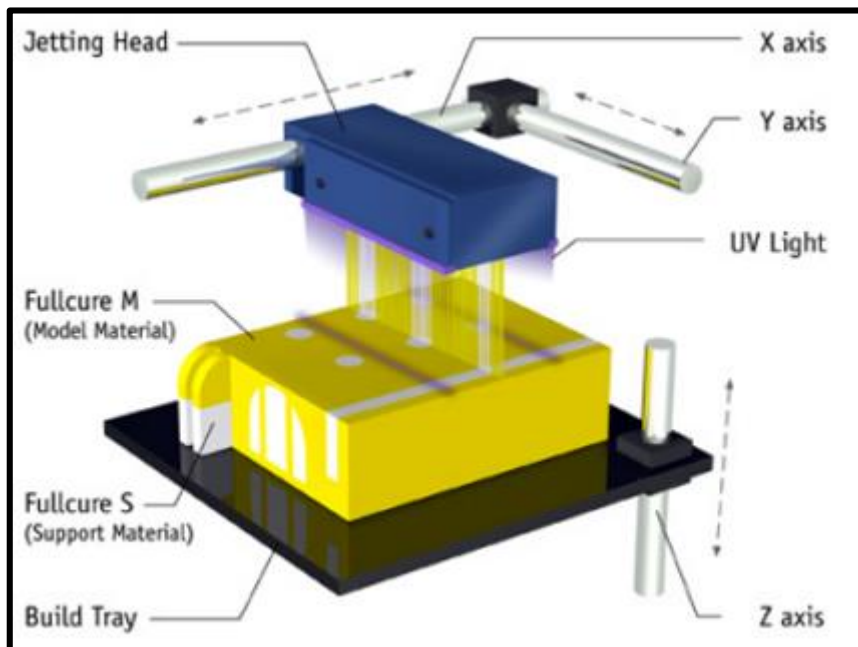


Figure III.6: Procédé Polyjet [5].

### III.2.2.2 L'impression 3D par liage de poudre

Ces procédés se caractérisent par l'utilisation de poudre comme matériau de base, laquelle est fusionnée de manière sélective selon des méthodes spécifiques. Leur principal atout réside dans la compatibilité avec une large gamme de matériaux, notamment les métaux, ce qui représente une avancée majeure dans le domaine de l'impression 3D. Parmi les techniques reposant sur ce principe [3], on retrouve notamment le frittage laser et la technologie **3DP**, présentés ci-dessous :

### a- Le frittage laser

Aussi connue sous le nom de **SLS (Selective Laser Sintering)**. Elle repose sur l'utilisation d'un laser haute puissance pour fusionner sélectivement des particules de poudre.

Comme pour toute impression 3D, un logiciel de **CAO** découpe d'abord le modèle numérique en fines couches. Le bac contenant la poudre est préchauffé à une température légèrement inférieure à son point de fusion. Une fine couche de poudre est ensuite répartie uniformément à l'aide d'un rouleau, puis le laser suit précisément le tracé défini par l'ordinateur pour solidifier la matière. Ce processus se répète couche par couche jusqu'à obtenir l'objet final.

Une fois l'impression terminée, la pièce est extraite du bac et débarrassée des résidus de poudre non fusionnés [3].

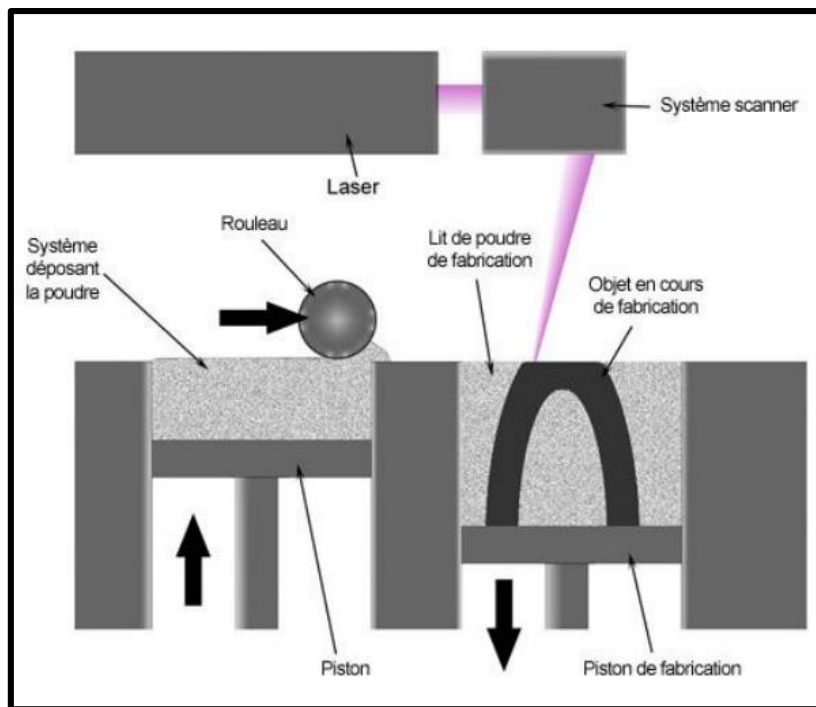


Figure III.7: Représentation schématique d'une imprimante SLS [3].

### b- La technologie 3DP (Three Dimensional Printing)

Cette technologie, avec le laminage papier par dépôt sélectif, fait partie des rares procédés capables d'imprimer en 3D avec plusieurs milliers de couleurs simultanément. Son fonctionnement repose sur l'application successive de couches de poudre par un rouleau sur une plateforme. Une tête d'impression dépose ensuite de fines gouttes d'adhésif liquide pour solidifier localement la poudre. Après chaque couche, la plateforme s'abaisse pour permettre l'ajout d'une nouvelle couche de poudre. Ce processus est répété jusqu'à l'obtention de l'objet final. La coloration est obtenue grâce à l'utilisation d'adhésifs teintés, distribués par plusieurs têtes d'impression et pouvant être mélangés pour créer une large palette de couleurs. Une fois

l'impression terminée, la pièce subit un traitement final comprenant l'élimination de l'excédent de poudre et un chauffage destiné à renforcer sa solidité [10].

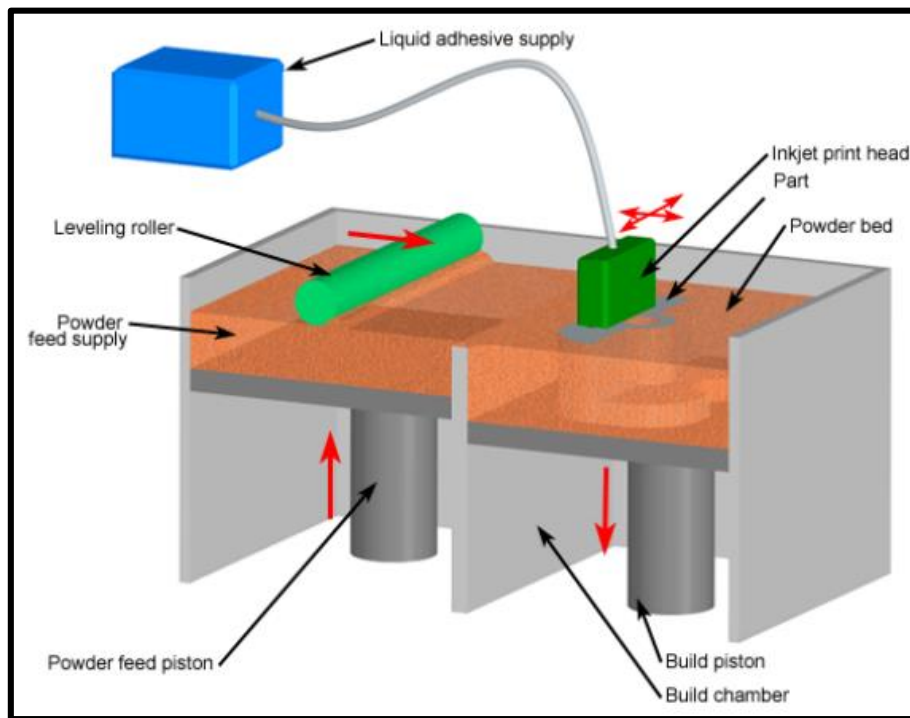


Figure III.8: Représentation schématique d'une imprimante 3DP [10].

### III.2.2.3 L'impression 3D par dépôt de matière fondue

Contrairement aux techniques basées sur la polymérisation de résine ou l'utilisation d'un liant, cette approche repose sur l'extrusion progressive de matière fondue. Elle est principalement représentée par le procédé **FDM** (**Fused Deposition Modeling**) ci-dessus, qui fonctionne par dépôt successif de filament fondu. Comme les autres techniques, le processus débute par l'analyse du fichier **CAO**, permettant de générer des coupes 2D de l'objet. L'impression repose ensuite sur l'extrusion d'un filament fondu (plastique ou métal) à travers une buse chauffée à une température adaptée au matériau employé. La matière est déposée en fines couches successives, généralement de 0,04 mm d'épaisseur, permettant de construire l'objet progressivement de sa base jusqu'à son sommet [10].

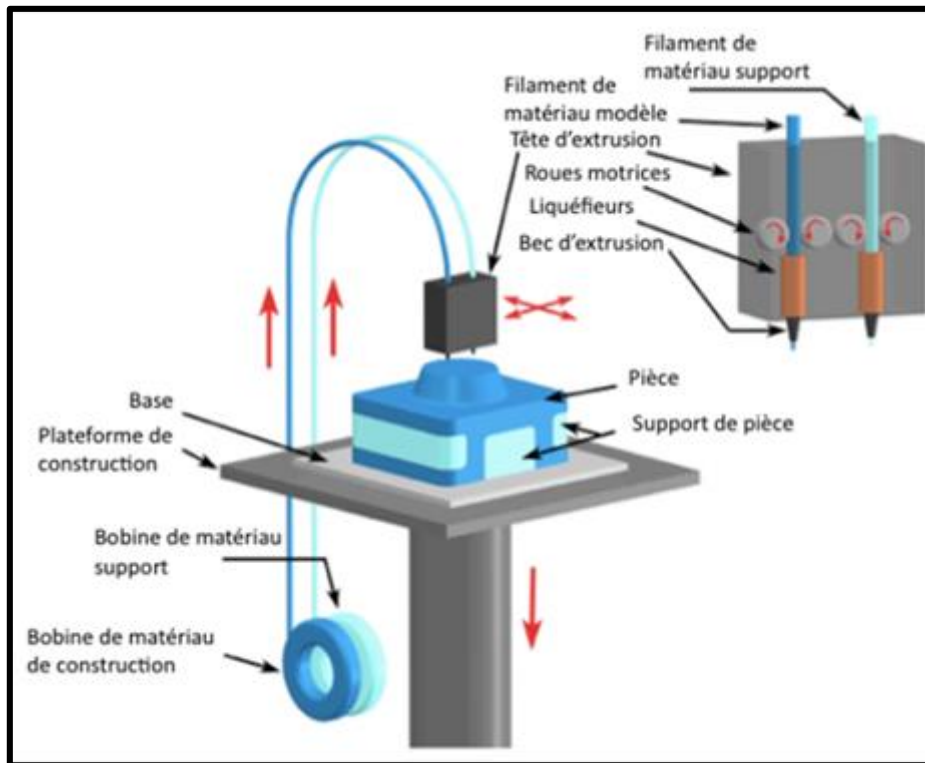


Figure III.9: Fonctionnement schématique d'une imprimante 3D FDM [11].

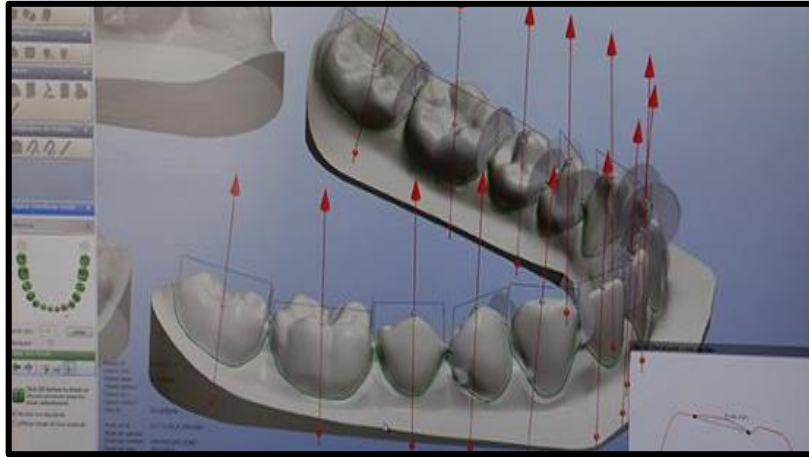
### III.3 Les application de l'impression 3D dans la fabrication des prothèses dentaire

L'impression 3D est utilisée en dentisterie pour fabriquer rapidement et précisément divers types de prothèses, en améliorant personnalisation, confort et qualité. Voici quelques exemples d'utilisation de l'impression 3D en dentisterie :

#### III.3.1 En Orthodontie

En orthodontie, la fabrication additive a simplifié les techniques existantes et permis l'apparition de nouvelles technologies pour l'alignement des dents, comme les aligneurs invisibles.

Le système Dentosmile, développé par Biotech, utilise l'impression 3D par stéréolithographie (SLA) pour fabriquer des modèles sur lesquels sont thermoformées des gouttières. Le processus commence par un scan des empreintes des deux maxillaires, suivi de la création d'un **set-up** numérique représenté dans la figure III.10, définissant la situation initiale et la situation finale souhaitée. Un algorithme calcule les étapes nécessaires, chaque étape correspondant à un déplacement précis des dents (0,2 mm et 2 degrés d'angle), produisant un modèle imprimé par SLA pour chaque étape [1].

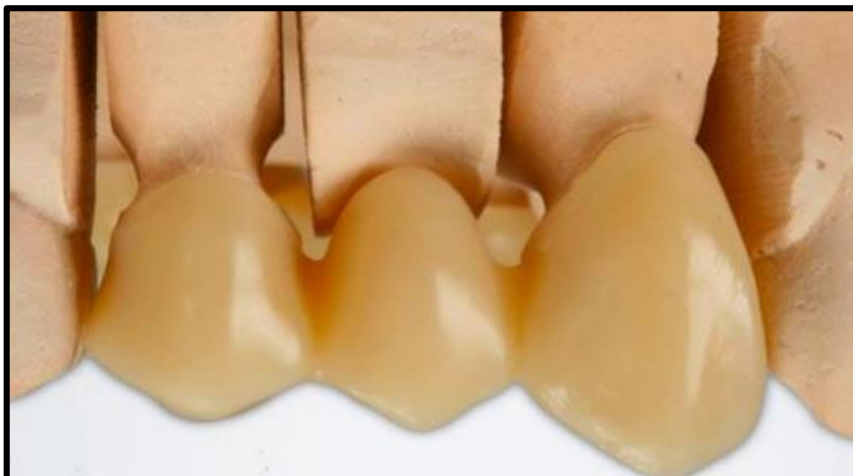


**Figure III.10:** Un Set up virtuel [1].

### III.3.2 En Prothèse fixe (PF)

L'application principale de l'impression 3D dans ce domaine est le prototypage rapide. Cette technologie permet de produire rapidement et à faible coût des maquettes en résine pour réaliser des montages directeurs, tester et valider des projets thérapeutiques en termes d'occlusion, de **DVO (Dimension Verticale d'Occlusion)** et d'esthétique. L'impression 3D permet de valider chaque étape de la conception avant de produire la prothèse finale, offrant ainsi une grande flexibilité et un coût réduit.

Cependant, la production de prothèses fixes définitives par impression 3D reste limitée, notamment en raison de la technologie actuelle d'impression en céramique qui nécessite encore des améliorations pour une utilisation à grande échelle [1].



**Figure III.11:** Couronne dentaire réalisé avec la technique D'impression 3D [1].

### III.3.3 En Prothèse Amovible

La fabrication additive est la seule méthode numérique permettant de produire des châssis métalliques pour les **Prothèses Partielles Amovibles (PPA)**. Le processus commence par une empreinte traditionnelle coulée en plâtre puis numérisée. Grâce à la CAO, le logiciel détermine les lignes de contour, les contre-dépouilles et l'axe d'insertion.

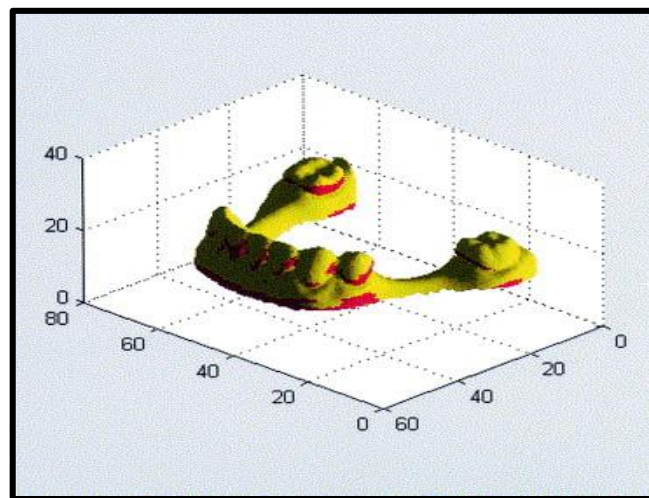
La modélisation numérique de la PPA prend environ 10 à 15 minutes, contre 30 à 45 minutes par la méthode traditionnelle, tout en éliminant la nécessité de produire un duplicata. Deux techniques de production sont possibles soit :

**Impression d'un modèle calcinable** : qui est ensuite coulé en chrome-cobalt (Cr/Co).

**Impression directe en chrome-cobalt** : par fusion laser, supprimant les étapes de mise en cylindre et de coulée.

Après impression, les PPA sont traitées thermiquement, détachées de leurs supports puis polies. Bien que cette méthode offre un gain de temps et de matériau considérable, elle reste peu répandue en raison du coût élevé des imprimantes à microfusion laser, même si le recours à un centre de fusion métallique est possible [1].

La figure suivante montre un exemple de modélisation 3D d'une prothèse dentaire :



**Figure III.12:** Modélisation 3D d'une prothèse Partielle mandibulaire par impression 3D [1].

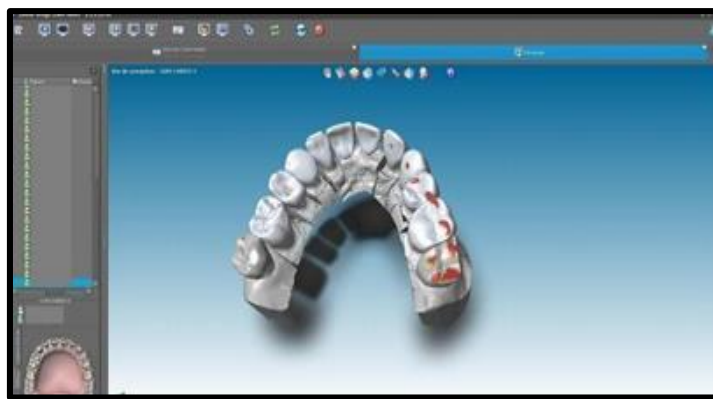
### III.3.4 En prothèse complète (PC)

La fabrication des prothèses complètes (PC) n'a que peu évolué au fil des décennies, nécessitant 5 étapes en cabinet et 6 à 8 heures de travail en laboratoire. Cependant, la **CFAO** et la fabrication additive ont révolutionné ce domaine, permettant désormais de réaliser des **PC** en seulement deux ou trois rendez-vous grâce à des systèmes numériques.

Le processus commence par une empreinte physique essentielle pour enregistrer correctement le joint périphérique. Les empreintes secondaires des deux maxillaires, solidarisiées en relation centrée, sont numérisées pour obtenir un modèle numérique de travail.

La CAO permet ensuite d'ajuster le plan d'occlusion, la ligne du sourire, et l'alignement des arcades. Les bases des prothèses sont fabriquées par stéréolithographie en utilisant une résine photo polymérisable, tandis que les dents, en résine ou en céramique, sont collées dans les loges prévues.

Cette approche numérique réduit considérablement le temps de production et améliore la précision des prothèses complètes [1].



**Figure III.13:** Conception numérique d'une PC [6].

### III.3.5 En prothèse implantaire

L'impression 3D est couramment utilisée en implantologie pour produire des guides chirurgicaux en résine par stéréolithographie. Ces guides peuvent être à appui osseux, muqueux ou dentaire. Pour les guides à appui muqueux ou dentaire, une empreinte traditionnelle est scannée puis combinée avec une tomodensitométrie pour aligner les données de planification implantaire avec les tissus concernés. Les guides dentaires sont adaptés aux petits édentements, tandis que les guides muqueux sont utilisés pour des édentements importants ou complets.

Les guides à appui osseux sont fabriqués directement à partir de la tomodensitométrie sans empreinte physique, permettant une adaptation directe sur l'os, particulièrement utile pour visualiser les crêtes osseuses lors de la chirurgie.

L'impression 3D permet également d'imprimer un modèle de la crête osseuse du patient, servant de support au guide chirurgical. Elle offre des applications concrètes et prometteuses en implantologie [1].

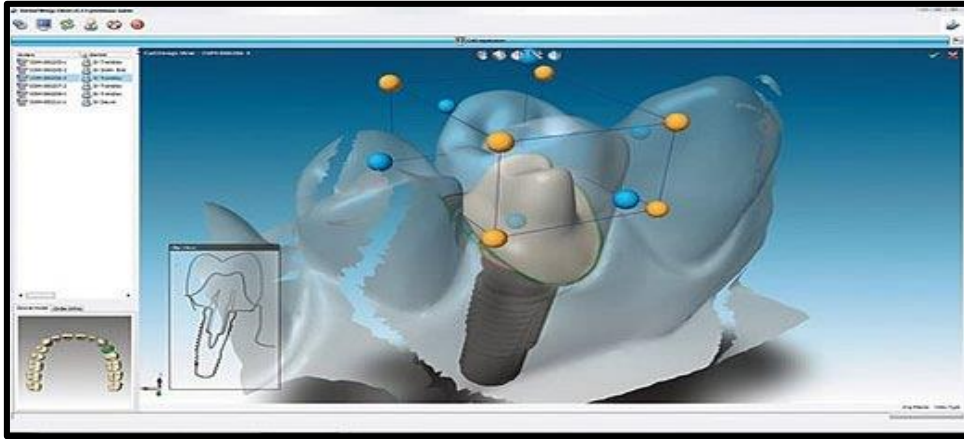


Figure III.14: Conception numérique d'un implant dentaire [3].

### III.4 Perspectives de l'impression 3D en odontologie

L'impression 3D en odontologie continue de progresser, offrant de nouvelles opportunités technologiques et cliniques. Les innovations récentes, telles que l'intégration de l'intelligence artificielle (AI), promettent de révolutionner la conception et la réalisation des soins dentaires.

**Impression 4D** : Intègre la dimension temporelle, permettant aux structures imprimées de changer de forme ou de fonction en réponse à des stimuli externes, ouvrant la voie à des dispositifs dentaires adaptatifs.

**Développement de nouveaux biomatériaux** : La recherche se concentre sur la création de matériaux imprimables qui imitent les propriétés des tissus dentaires naturels, améliorant ainsi l'esthétique et la fonctionnalité des restaurations.

**Intégration avec l'intelligence artificielle (IA)** : L'IA pourrait optimiser la conception des dispositifs dentaires, automatiser la planification des traitements et prédire les résultats cliniques, améliorant ainsi la précision et l'efficacité des soins [12].

### Deuxième procédé numérique : L'usinage

#### III.5 Généralités sur l'usinage

##### III.5.1 Définition de l'usinage

L'usinage, ou fabrication soustractive, est l'une des premières méthodes utilisées en CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) pour la réalisation des prothèses dentaires. Ce procédé consiste à sculpter une restauration dans un bloc de matériau brut à l'aide de fraises

rotatives, selon un parcours défini par l'ordinateur. Les performances de l'usinage dépendent directement du nombre d'axes de déplacement de la machine :

**Trois axes** : permettent les mouvements de translation dans l'espace (X, Y, Z),

**Cinq axes** : ajoutent des mouvements de rotation, ce qui permet d'atteindre plus facilement certaines zones complexes, comme les contre-dépouilles [13].



Figure III.15: Machine d'usinage pour prothèse dentaire [14].

### III.5.2 Les différents types de l'usinage

#### III.5.2.1 Usinage en dur

Ce procédé utilise un bloc entièrement fritté ou cristallisé, c'est-à-dire déjà cuit à sa forme définitive. Une fois l'usinage terminé, la prothèse est prête à être polie et collée directement, sans aucune étape de cuisson supplémentaire. Cette méthode est rapide mais nécessite l'utilisation de fraises plus résistantes, car le matériau est déjà dur [13].

#### III.5.2.2 Usinage mou

Ici, le bloc est seulement partiellement fritté ou cristallisé. Cela permet un usinage plus doux, avec moins d'usure des fraises et moins de stress sur le matériau. En revanche, une cuisson postérieure d'environ 20 minutes dans un four est nécessaire pour finaliser la prothèse. Ce procédé offre un bon compromis entre facilité d'usinage et qualité du résultat final [13].

### III.6 Les différentes technologies d'usinage utilisées pour les prothèses dentaires

#### III.6.1 Usinage traditionnel

L'usinage traditionnel en odontologie repose sur des techniques manuelles ou semi-automatisées, réalisées principalement par des prothésistes dentaires. Ces méthodes utilisent des outils mécaniques tels que des fraises, disques, meules ou limes rotatives pour façonner les

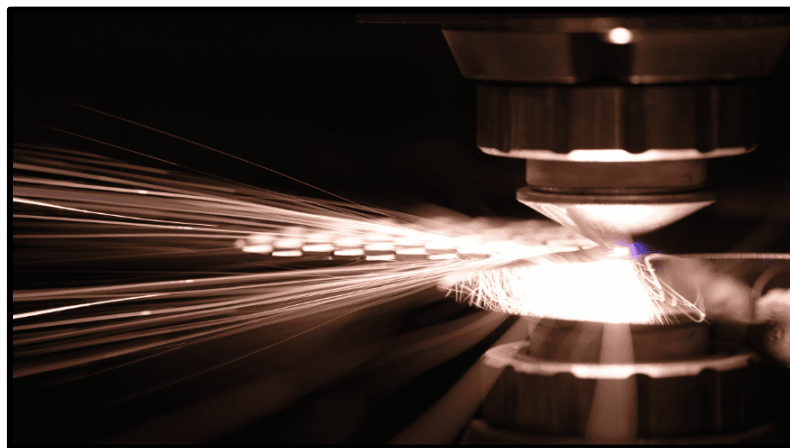
restaurations dentaires pour les prothèses comme les couronnes, chapes ou armatures métalliques. Cette technologie présente l'avantage d'offrir une grande flexibilité pour la création de formes complexes et un coût initial faible, car elle ne nécessite pas d'équipements numériques coûteux. En revanche, elle est limitée par une précision moindre, un temps de fabrication plus long et une reproductibilité réduite par rapport aux procédés numériques [15].



**Figure III.16:** Usinage manuel d'une prothèse dentaire [16].

### III.6.2 Usinage au laser

L'usinage au laser en odontologie, illustré à la Figure III.17, utilise un faisceau laser pour découper ou graver les matériaux dentaires avec une grande précision. Cette technologie présente des avantages notables tels qu'une précision micrométrique, une faible génération de chaleur et ce qui préserve les propriétés des matériaux et la capacité à usiner des matériaux difficiles à traiter par d'autres méthodes. En revanche, elle présente aussi des inconvénients, notamment le coût élevé des équipements et la nécessité d'une expertise technique avancée, ce qui peut limiter son utilisation [17].



**Figure III.17:** Exemple de coupage de la céramique avec laser [18].

### III.6.3 Usinage numérique (CFAO)

L'usinage numérique, ou **CFAO** (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur), utilise des machines-outils à commande numérique **CNC** pour fabriquer des prothèses dentaires. Ce processus comprend la numérisation des empreintes, la conception assistée par ordinateur **CAO** et la fabrication assistée par ordinateur **FAO**. Cette technologie présente plusieurs avantages, notamment une haute précision, une excellente reproductibilité, une réduction du temps de fabrication et la possibilité d'archiver les données numériquement. Cependant, son coût initial élevé et la nécessité d'une formation spécialisée peuvent constituer des freins à son adoption [19].



Figure III.18: La CFAO pour l'usinage dentaire [16].

### III.7 L'apport du processus d'usinage dans l'odontologie

L'usinage a révolutionné la fabrication des prothèses dentaires en odontologie. Grâce à ses apports en termes de précision, de qualité des matériaux et de rapidité, il permet d'optimiser les résultats cliniques tout en réduisant le temps et les erreurs liés aux méthodes traditionnelles.

#### Précision

-L'usinage supprime plusieurs étapes traditionnelles sources d'erreurs (désinfection, moulage, etc.).

-Il permet une meilleure adaptation marginale (joint dento-prothétique < 80  $\mu\text{m}$ ) [13].

#### Qualité des matériaux

Les blocs sont fabriqués en conditions industrielles optimales (haute pression, haute température),

Cela donne des matériaux avec un haut taux de conversion :

- Composites : taux  $\approx$  95 %,
- Moins de défauts internes,
- Meilleures propriétés mécaniques (résistance à l'usure, dureté, module d'élasticité),
- Meilleure biocompatibilité (moins de relargage de monomères) [13].

### **Rapidité de fabrication**

- Une prothèse peut être usinée en 15 minutes,
- Possibilité de réaliser des protocoles "chairside" : un seul rendez-vous suffit [13].

### **III.8 Perspectives et évolution de l'usinage en odontologie**

L'usinage dentaire, initialement limité à la production de restaurations simples, évolue aujourd'hui vers des systèmes de plus en plus sophistiqués intégrant l'intelligence artificielle (AI), l'automatisation complète du processus, et la fabrication multi-matériaux.

Grâce aux avancées en imagerie 3D et aux algorithmes de planification, certaines unités CFAO sont désormais capables de détecter automatiquement les zones de faiblesse dans le modèle numérique, adaptant le parcours d'usinage en temps réel pour éviter les défauts structurels [20]. Par ailleurs, des recherches sont en cours sur l'usinage de biomatériaux innovants, comme les composites à matrice céramique renforcés de fibres, qui offrent une meilleure biomimétique et une résistance accrue aux chocs occlusaux. Le développement de solutions "cloud-CFAO" permet une collaboration à distance entre cliniciens et prothésistes, accélérant encore les délais de fabrication et améliorant la traçabilité des restaurations [22].

### **III.9 Technologies utilisées avec l'impression 3D et l'usinage pour la fabrication de prothèses dentaires**

En dentisterie numérique, l'impression 3D est intégrée au système CFAO qui englobe plusieurs technologies complémentaires. Voici les principales technologies utilisées :

#### **III.9.1 Scanner intra orale**

Le scanner intra-oral capture des images successives sous différents angles pour numériser précisément la zone à traiter. Trois types principaux de prises de vues sont réalisés : les vues de la préparation dentaire, les vues des surfaces antagonistes, et les vues vestibulaires permettant d'enregistrer l'occlusion statique entre les deux arcades.

Certains systèmes, repositionnent théoriquement les deux arcades en se basant sur les reconnaissances anatomiques des surfaces occlusales. Le faisceau lumineux projeté par le

scanner est réfléchi par les surfaces dentaires, puis capté par la caméra intégrée. Ces données sont ensuite utilisées pour créer un modèle tridimensionnel **3D** précis de la dentition [23].



Figure III.19: Scanner intra oral [1].

### III.9.2 Conception assisté par ordinateur (CAO)

La Conception Assistée par Ordinateur **CAO** est une technologie qui trouve son origine dans l'évolution des techniques de dessin industriel et le besoin de plans numériques pour piloter les machines-outils à commande numérique. Elle regroupe un ensemble de logiciels permettant de modéliser géométriquement, de concevoir et de simuler virtuellement le comportement d'un objet avant sa fabrication. Il est essentiel de ne pas confondre la **CAO** avec la **DAO** (Dessin Assisté par Ordinateur). La **DAO** se limite principalement à la création de dessins graphiques vectoriels tels que des traits et des formes, sans possibilité de générer des images de synthèse ou des modèles en trois dimensions. En revanche, la **CAO** se distingue par sa capacité à créer des modèles 3D dans un environnement virtuel soumis aux lois de la physique, en prenant en compte les contraintes techniques spécifiques. Elle permet également d'automatiser l'édition des rendus et des plans, rendant le processus de conception plus rapide, précis et optimisé [23].

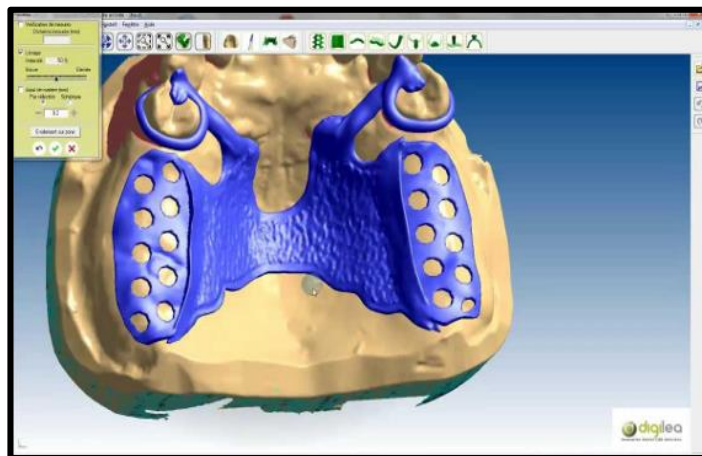


Figure III.20: Conception de la prothèse dentaire sur le logiciel CAO [1]

### III.9.3 Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)

La Fabrication Assistée par Ordinateur **FAO** est une technologie développée pour produire des fichiers contenant des instructions standardisées, permettant de contrôler précisément les mouvements des éléments mobiles d'une machine-outil. Ces instructions sont utilisées pour fabriquer une pièce physique à partir d'un modèle numérique 3D conçu dans un matériau spécifique. Au fil des années, la **FAO** est devenue un maillon essentiel dans une chaîne numérique continue, servant de lien entre les logiciels de Conception Assistée par Ordinateur **CAO** et les machines de mise en forme du matériau. La majorité des machines utilisant la **FAO** fonctionnent avec le langage de programmation **G-code**, qui permet de diriger avec précision les opérations des outils d'usinage et d'impression **3D**. Afin de faciliter l'utilisation de ces machines, des Interfaces homme-machine (**IHM**) sont souvent intégrées pour rendre leur manipulation plus intuitive. Elle peut aussi prendre le contrôle de :

**Outils d'usinage ou d'extrusion** : Commande des équipements utilisés pour sculpter ou ajouter de la matière (fraiseuses, imprimantes 3D, etc.).

**Systèmes de magasinage et de changement d'outils** : Gestion automatisée des outils nécessaires au processus de fabrication.

**Dispositifs de changement de pièce** : Manipulation automatique des matériaux pour optimiser la production.

**Tables ou palettes de fixation** : Maintien sécurisé des pièces pendant leur traitement.

**Mécanismes annexes** : Aspiration des poussières, sécurité et contrôle environnemental pour un fonctionnement optimal [24]

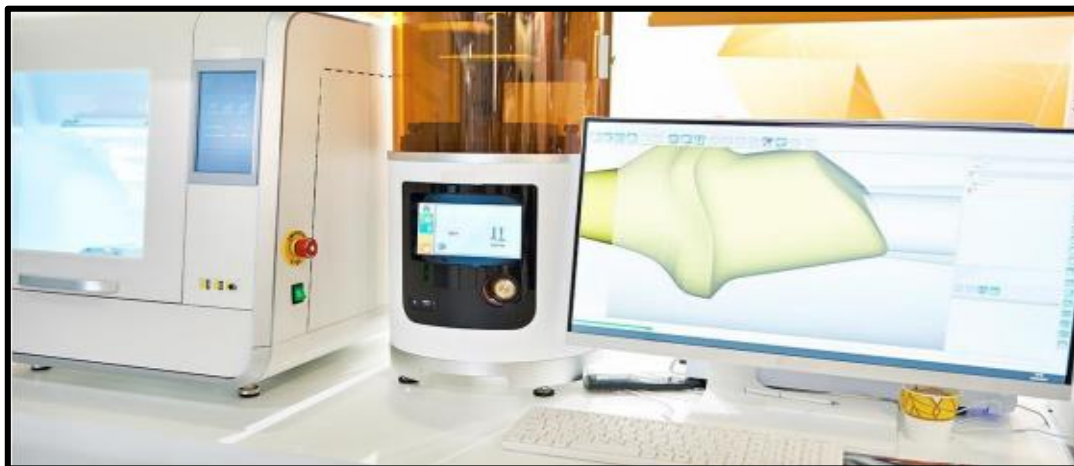


Figure III.21: Les différents systèmes de la chaîne CFAO [23].

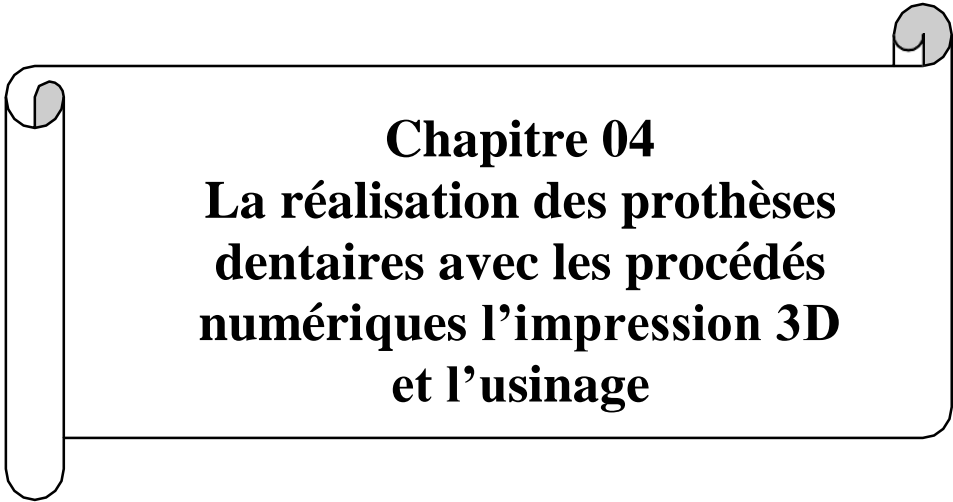
### **III.10 Conclusion**

Ce chapitre nous a permis d'explorer en détail l'étude théorique des deux principaux procédés numériques utilisés actuellement en odontologie, à savoir l'impression 3D et l'usinage. Nous avons présenté leurs principes de fonctionnement, les technologies associées, les matériaux employés ainsi que leurs applications concrètes dans le domaine prothétique. Grâce à cette analyse, nous avons acquis une vision claire des possibilités offertes par ces techniques, tant en termes de précision, d'efficacité que de personnalisation. Ces connaissances théoriques constituent une base solide pour poursuivre notre travail et aborder, dans le chapitre suivant, la phase pratique de réalisation de prothèses dentaires numériques à l'aide de l'usinage et de l'impression 3D.

### Bibliographie

- [1] J. Palau, « *L'impression 3D ou fabrication additive en odontologie, actualités et Perspectives* », Thèse de Doctorat en Chirurgie Dentaire, Aix-Marseille-Université, Marseille, France, 12 juillet 2017.
- [2] Z. Brahimi et T. Berkane, « *Réalisation d'une prothèse myoélectrique d'un bras avec l'impression 3D* », Mémoire de master, Département d'Électronique, Faculté de Génie Électrique et Informatique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 2021.
- [3] S. Ceyte, « *L'impression 3D fonctionnement et perspectives en chirurgie dentaire* », Thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon I, U.F.R. d'Odontologie, 2016.
- [4] S. Witkowski et R. Lange, « *Applications de la stéréolithographie dans la technique Dentaire* », Revue Mensuelle Suisse d'Odonto-Stomatologie, vol. 113, no. 8, pp. 879-886, Aout 2003.
- [5] J. W. Stansbury et M. J. Idacavage, « *3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities* », *Dental Materials*, vol. 32, no. 1, pp. 54–64, 2016.
- [6] G. Oberoi, S. Nitsch, M. Edelmayer, et K. Janjić, « *3D printing - Encompassing the facets of dentistry* », *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 6, 2018.
- [7] M. Berchon et B. Luyt, « *L'impression 3D* », 2eme edition. Paris, 2014, p. 214.
- [8] M. Nizard, « *L'impression 3D en odontologie : exemples d'applications cliniques en Prothèse fixée* », Thèse de doctorat, Faculté de Chirurgie Dentaire, Université Nice-Sophia Antipolis, France, 2016.
- [9] J.-L. Clauss, « *L'impression 3D avec SketchUp* », 1ere edition. Saint-Herblain, France: Editions ENI, 2014.
- [10] M. Berchon, « *L'impression 3D* », 2eme édition. Paris, France: Eyrolles, 2014
- [11] K.Y. Lee et al, « *Accuracy of three-dimensional printing for manufacturing replica teeth* » *Korean Journal of Orthodontics*, vol. 45, no. 5, p. 217, 2015.
- [12] D. Khorsandi et al., « *3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Recent advances and future perspectives* », arXiv preprint arXiv:2103.15455, 2021. ».
- [13] J. Costes, « *Les biomatériaux de restauration coronaire en CFAO directe : mise au point en 2021* », Thèse de doctorat en chirurgie dentaire, Université de Paris, Faculté de Santé, UFR d'Odontologie, Paris, France, déc. 2021.
- [14] Kreos Dental, « *Équipement CFAO pour laboratoire Dentaire et Prothésiste* ».
- [15] R. Boutabout, S. Guemri, et R. Bachouche, « *Usinage traditionnel* », Mémoire de Master, Université Saad Dahlab de Blida 1, 2023.

- [16] Denturologistes du Quartier, «*Denturologie numérique*».
- [17] Z. Tabet, « *Diagnostic thermique au laser lors d'une opération d'usinage* », Mémoire de Master, Université du 20 Août 1955 de Skikda, 2011.
- [18] Baison Laser, "Laser cutting ceramics," *Baison Laser*.
- [19] M. A. Aid, «*Conception et réalisation d'une machine outil à commande numérique*», Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2018.
- [20] A. Lacoste, « *Les nouvelles technologies de la CFAO dentaire* », Thèse de doctorat, Université de Toulouse III - Paul Sabatier, 2022.
- [21] G. Rizzo, « *Advanced Dental Materials and Technologies*», Elsevier, 2020.
- [22] E. Barbotte, «Optimisation des processus de production en dentisterie numérique», Mémoire de master, Université Claude Bernard Lyon 1, 2021.
- [23] A. Berdaoui, H. Hamidouche, K. Khedim, A. Louzri, F. Merine, et M. A. Serrah, «*La CFAO en prothèse dentaire*», Mémoire de fin d'études, Université Saad Dahlab - Blida 1, Faculté de Médecine, Département de Médecine Dentaire, Algérie, 30 juin 2022
- [24] S. Clerc, «*Impression 3D en odontologie -Conception d'une imprimante 3D*», Thèse de doctorat, Université de Lorraine, Faculté d'Odontologie, Nancy, France, 2016



**Chapitre 04**  
**La réalisation des prothèses**  
**dentaires avec les procédés**  
**numériques l'impression 3D**  
**et l'usinage**

### IV.1 Introduction

Ce chapitre marque l'aboutissement concret de notre projet. Après avoir présenté les apports théoriques liés aux technologies numériques en prothèse dentaire, nous passons à leur mise en œuvre pratique, réalisée dans un cadre professionnel réel, à la clinique dentaire Moudjahid Meridji Bahloul. Notre travail repose sur deux procédés de fabrication numérique de dernière génération : l'impression 3D et l'usinage. Ces techniques nous ont permis de concevoir et fabriquer des prothèses dentaires avec un haut niveau de précision, tout en évaluant leur qualité, leur fiabilité et leur coût. Ce chapitre vise à décrire les étapes techniques suivies et à valoriser notre capacité à mobiliser ces technologies dans un contexte clinique réel, en alliant rigueur, autonomie et adaptation. Il se divise en deux parties : la première consacrée à la fabrication d'un bridge par impression 3D, soulignant la souplesse du procédé additif ; la seconde à la réalisation d'une couronne par usinage numérique, mettant en avant la précision de cette approche soustractive. À travers ces deux expériences, nous illustrons le potentiel des procédés numériques en dentisterie moderne et notre maîtrise concrète de leur application clinique. L'organigramme ci-dessous résume les étapes clés de chaque procédé, détaillées dans les sections suivantes.

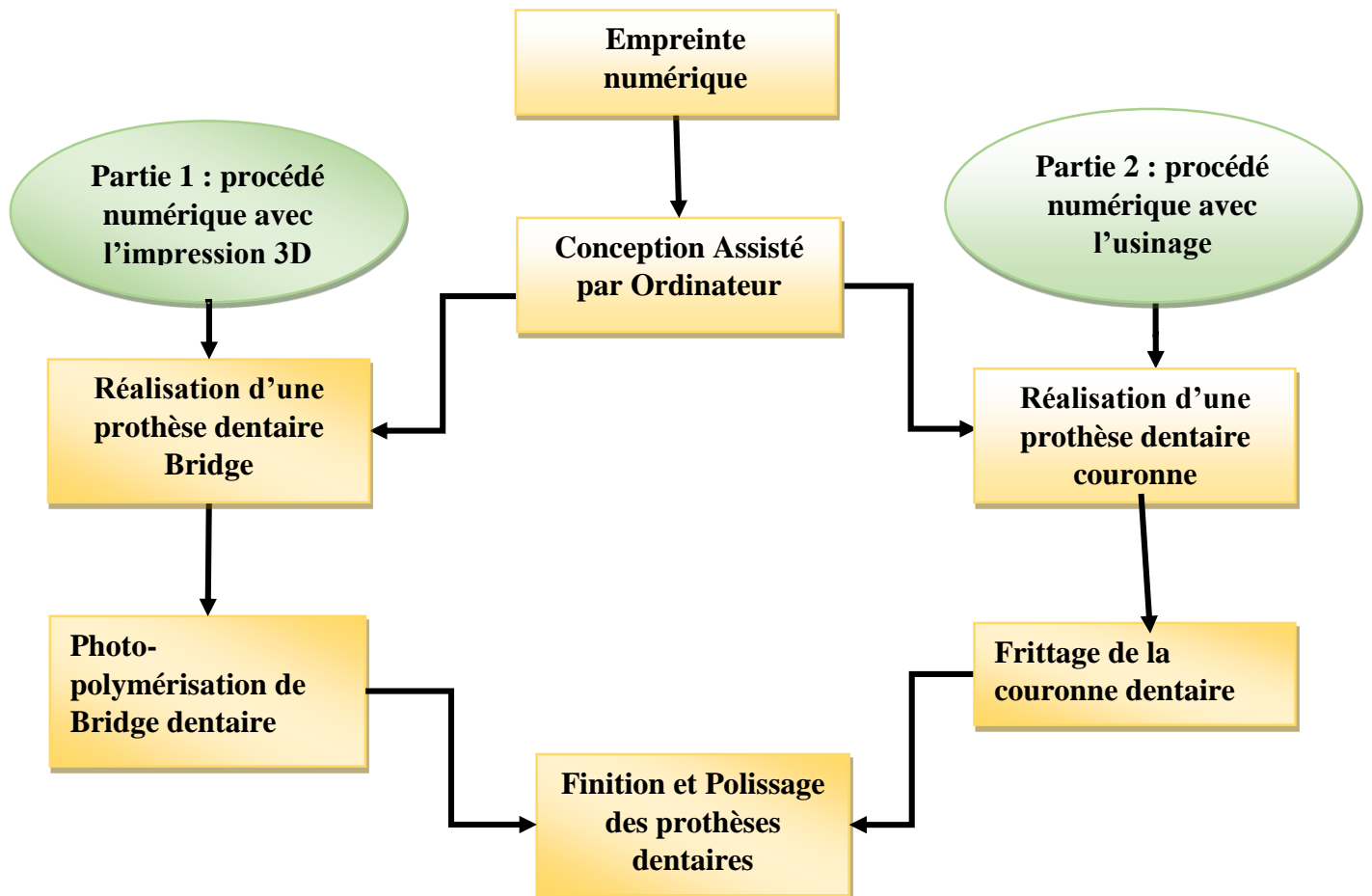


Figure IV.1: Un Organigramme qui illustre les étapes principales de chaque procédé.

### IV.2 Présentation du lieu de stage

#### IV.2.1 Description de la clinique Moujahid Miriji Bahloul

La Clinique Dentaire Moudjahid Meriji Bahloul, située à la Nouvelle Ville de la wilaya Tizi Ouzou, à proximité du Centre d'Imagerie médicale Yaker. Cet établissement est spécialisé dans les soins dentaires et la prothèse dentaire, intégrant des technologies modernes telles que l'impression 3D pour optimiser la précision et l'adaptation des prothèses. La Figure IV.2 présente la façade principale de la clinique, offrant un aperçu de son environnement et de son infrastructure dédiée aux soins dentaires et à la réhabilitation prothétique.



**Figure IV.2:** Façade principale de la Clinique Dentaire Moudjahid Meridji Bahloul Tizi Ouzou.

Une carte de visite est disposée à l'accueil de la clinique, mettant à la disposition des patients des informations détaillées sur les services proposés, facilitant ainsi leur orientation et prise de contact donnée en annexe 1.

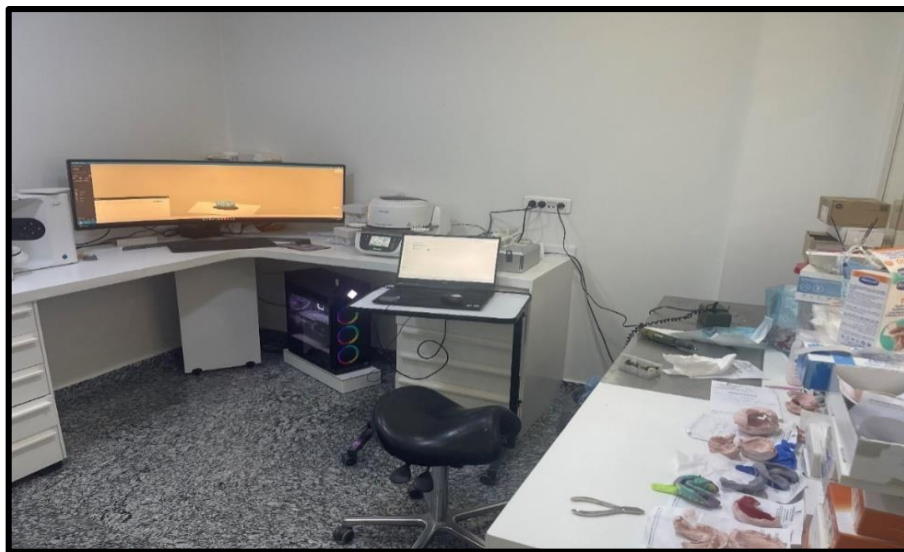
#### IV.2.2 Structure de la clinique Moujahid Miriji Bahloul

La Clinique Dentaire Moudjahid Meridji Bahloul dispose de huit cabinets dentaires, dont le cabinet 1, spécialement conçu pour les actes chirurgicaux. Elle comprend également deux salles d'attente, une salle de radiologie pour les examens d'imagerie médicale, ainsi qu'une salle de stérilisation garantissant l'asepsie du matériel. Le laboratoire du prothésiste et la salle de plâtre

## Chapitre IV :Réalisation de prothèses dentaires avec l'impression 3D et l'usinage

sont dédiés à la conception et à la fabrication des prothèses dentaires. De plus, l'établissement est doté d'une salle de repos et d'un vestiaire réservés au personnel, ainsi qu'un service administratif et un accueil assurant la gestion et l'orientation des patients.

Le laboratoire où nous avons travaillé est spécialement aménagé pour la fabrication des prothèses dentaires. Il est équipé du matériel nécessaire à chaque étape du processus, allant de la préparation des empreintes à la finition des prothèses. On y trouve notamment des postes de travail pour le modelage, ainsi que des équipements pour le moulage, la polymérisation et le polissage. Cet espace permet au prothésiste et à son assistant d'effectuer un travail précis et soigné dans des conditions optimales.



**Figure IV.3:** Le bureau de travail du prothésiste.

Nous allons maintenant entamer le processus de fabrication de la prothèse dentaire Bridge en impression 3D, en vous présentant pas à pas chaque étape que nous avons suivie, de manière claire et détaillée.

### **Partie 1 : Réalisation d'une prothèse dentaire BRIDGE avec l'impression 3D**

Dans cette partie, nous décrirons les différentes étapes que nous avons suivies pour réaliser les prothèses dentaires avec l'impression 3D.

Nous présenterons tout d'abord les appareils, les matériels et les logiciels utilisés, les matériaux employés, puis nous détaillerons le processus de fabrication de la prothèse dentaire Bridge.

### IV.3 les appareils et les matériels et les matériaux utilisés dans la fabrication de la prothèse dentaire bridge

Voici les principaux appareils, matériels et matériaux que nous avons utilisés pour la fabrication du bridge dentaire par impression 3D, choisis pour garantir précision et qualité tout au long du processus.

#### IV.3.1 les appareils

Voici les appareils que nous avons employés pour réaliser la fabrication du bridge dentaire

##### IV.3.1.1 le scanner intra-oral

Nous avons réalisé la prise d'empreinte numérique à l'aide d'un scanner intra-oral Voir dans la figure IV.4, Cet appareil nous a permis de capturer la forme et la structure des dents en trois dimensions avec une grande précision.



Figure IV.4: Scanner intra-oral.

##### IV.3.1.2 Logiciels de conception

Pour la réalisation des prothèses dentaires avec l'impression 3D, nous avons utilisé trois logiciels principaux de différentes étapes du processus :

**A-Carestream** : utilisé pour la numérisation des empreintes dentaires. Ce logiciel permet de capturer avec précision la géométrie de la dentition grâce au scanner intra-oral.

**B-Exocad** : utilisé pour la conception assistée par ordinateur **CAO** de la prothèse. Exocad offre de nombreux outils pour modéliser des couronnes, bridges et autres restaurations avec une grande précision.

**C-RayDent** : utilisé pour la préparation des fichiers avant impression. Ce logiciel permet de positionner, orienter et paramétrer les modèles 3D en fonction des spécificités de l'imprimante RayDent.

### IV.3.1.3 Imprimante 3D

La figure IV.5 illustre l'imprimante 3D RayDent que nous avons utilisée, spécialement conçue pour la fabrication des prothèses dentaires en résine. Cet appareil utilise la technologie **LCD** (photopolymérisation par écran à cristaux liquides), permettant d'obtenir des impressions de haute précision.

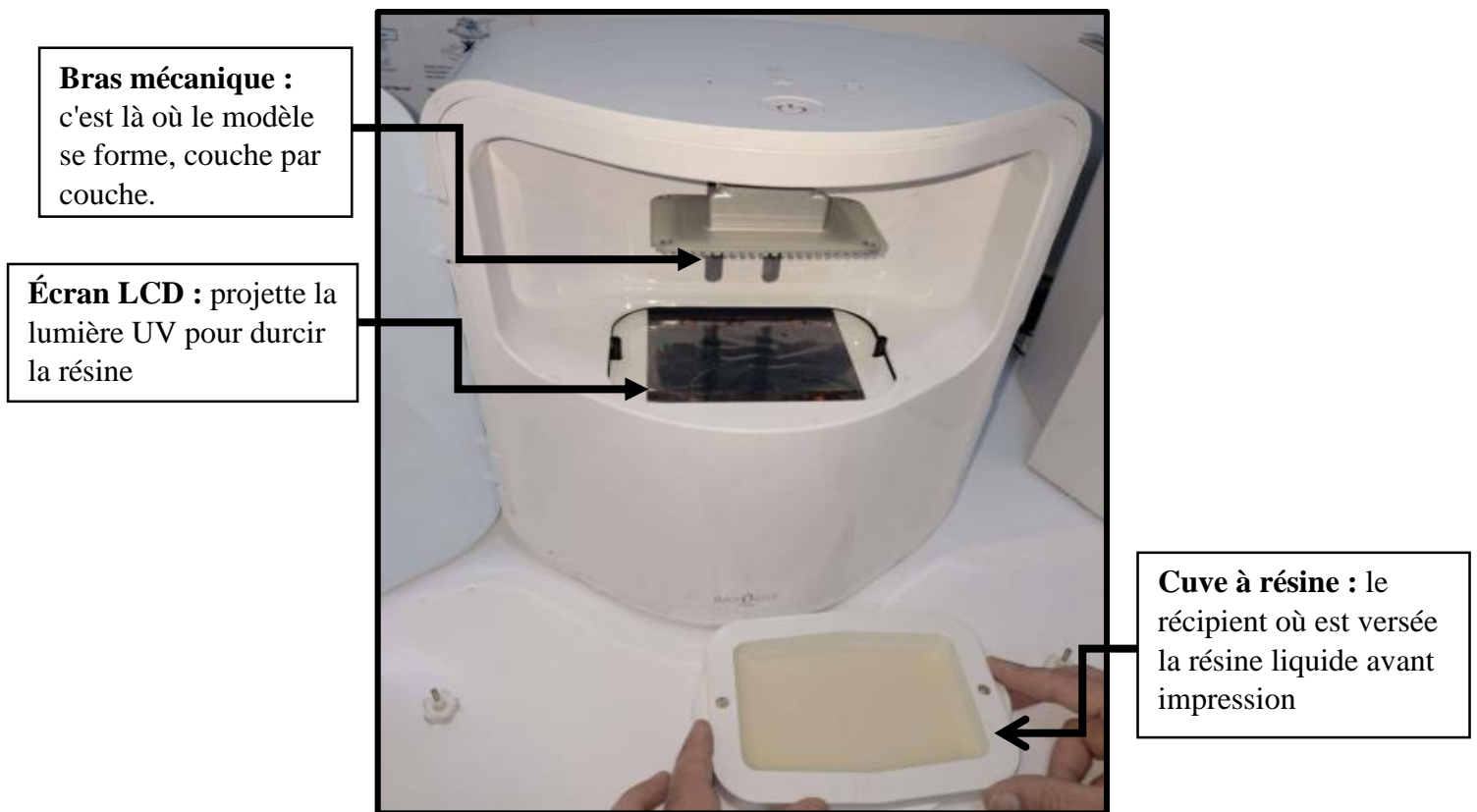


Figure IV.5: Imprimante 3D RayDent.

Cette imprimante fabrique les prothèses couche par couche à partir des fichiers numériques conçus par les logiciels adaptés. Elle offre une grande précision, une bonne reproduction des détails anatomiques et une utilisation simple. Son emploi en dentisterie permet de gagner du temps tout en améliorant la qualité des restaurations comme les bridges ou les couronnes.

### IV.3.1.4 L'appareil de polymérisation

Nous avons utilisé un appareil de polymérisation de la marque RayDent comme l'illustre la figure IV.6. Cet appareil est spécialement conçu pour le durcissement des pièces imprimées en résine dentaire.

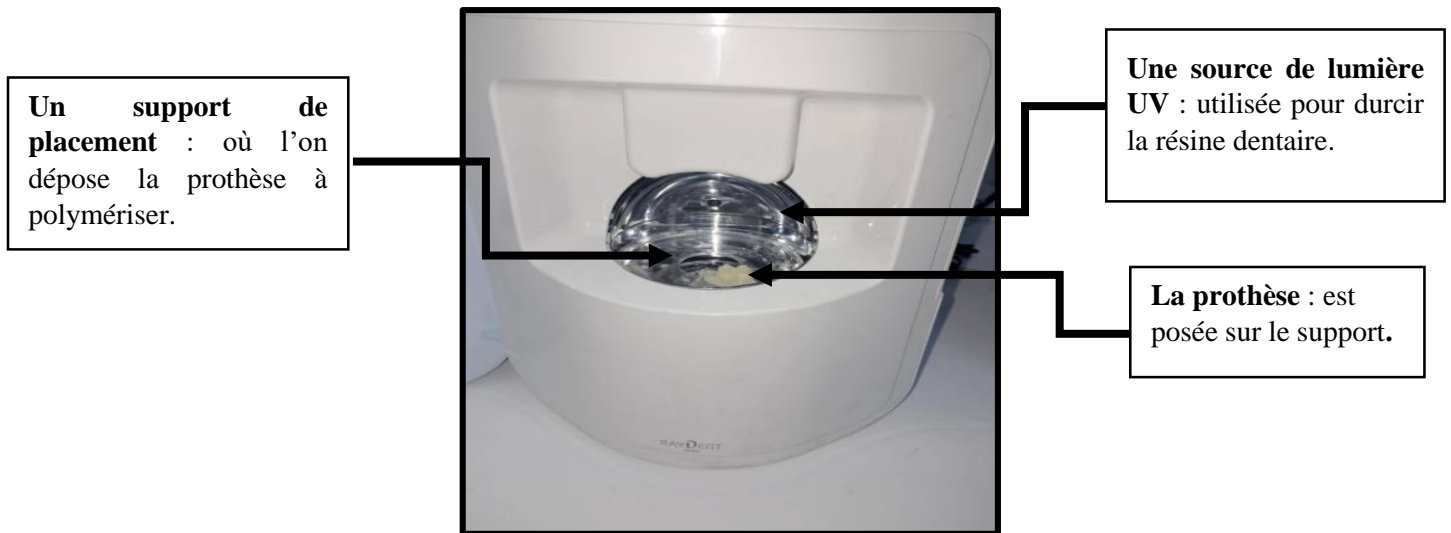


Figure IV.6: Appareil de polymérisation RayDent.

### IV.3.1.5 Appareil de polissage et lustrage des prothèses dentaires

Nous utilisons un appareil de polissage et de lustrage pour la finition des prothèses dentaires, en réalisant deux étapes essentielles :

Polissage (côté droit) : À l'aide d'une brosse en coton et de pierre ponce en pâte, nous éliminons les irrégularités afin d'obtenir une surface lisse.

Lustrage (côté gauche) : À l'aide d'une brosse plus fine et d'une pâte de lustrage, nous procurons à la prothèse un aspect brillant et esthétique, améliorant ainsi son confort et son apparence naturel.



Figure IV.7: Appareil de polissage et lustrage.

### IV.3.2 Les matériels

Le matériel utilisé a permis de soutenir les différentes étapes de la fabrication, notamment la manipulation, la préparation et le suivi du travail jusqu'à l'impression finale.

#### IV.3.2.1 Spatule

Nous utilisons une spatule pour mélanger et homogénéiser la résine liquide comme illustre dans la figure IV.8 avant son transfert dans le réservoir de l'imprimante 3D Comme présenté sur la figure IV.9. Cette étape nous permet d'assurer une consistance uniforme et d'éliminer les éventuelles bulles d'air, garantissant ainsi une impression optimale.



Figure IV.8: Spatule.



Figure IV.9: Réservoir de la résine.

### IV.3.2.2 Pincettes et brucelles

Nous utilisons un ensemble d'instruments pour le post-traitement des prothèses imprimées en 3D. La figure IV.5 ci-dessous présente les brucelles nous permettent de manipuler avec précision les pièces, tandis que les pincettes coupantes nous servent à enlever les supports d'impression, facilitant ainsi la préparation de la prothèse pour les étapes suivantes.



**Figure IV.10:** Pincettes et brucelles.

### IV.3.3 Les matériaux

Dans le but de garantir un résultat fiable et durable, nous avons sélectionné des matériaux reconnus pour leur biocompatibilité et leur résistance mécanique, tels que la résine liquide spéciale couronnes et bridges, ainsi que la pierre ponce en poudre utilisée pour la finition.

#### IV.3.3.1 Résine liquide

Nous avons utilisé une résine liquide spécialement conçue pour la fabrication des couronnes et des bridges dentaires.



**Figure IV.11:** Résine liquide utilisée Pour L'impression de Bridge.

### IV.3.3.2 Pierre ponce en poudre

La pierre ponce en poudre est un matériau abrasif d'origine volcanique utilisé pour le polissage des prothèses dentaires après leur fabrication, comme le montre la figure IV.12. Mélangée avec de l'eau, elle forme une pâte qui permet d'éliminer les irrégularités de surface tout en évitant une abrasion excessive, comme illustré à la figure IV.13. Son utilisation garantit une finition lisse et uniforme, tout en réduisant la surchauffe du matériau traité.



Figure IV.12: pierre ponce en poudre

Figure IV.13: pierre ponce en poudre mélangée  
Avec l'eau

Après avoir présenté le matériel, les appareils et les matériaux utilisés, nous allons maintenant détailler les différentes étapes du processus de fabrication du bridge dentaire par impression 3D.

### IV.4 Processus de fabrication d'une prothèse dentaire Bridge avec l'impression 3D

Dans le cadre de notre travail pratique, nous avons réalisé la fabrication d'un bridge dentaire pour un cas clinique précis. Le processus s'est déroulé en plusieurs étapes, allant de la numérisation de l'empreinte jusqu'à la fabrication finale de la prothèse dentaire avec impression 3D.

#### IV.4.1 Anamnèse

Nous avons reçu Madame S.W , une patiente âgée de 40 ans, résidant à Tizi Ouzou

Elle s'est présentée à la clinique Meridji pour la réalisation d'un bridge afin de remplacer des dents manquantes. Nous avons recueilli les informations nécessaires en lui posant des questions sur ses antécédents médicaux.

Après un examen clinique de son état général et bucco-dentaire, nous avons confirmé qu'elle était apte à recevoir une prothèse fixe Bridge.

### IV.4.2 Fiche technique de patiente

La fiche technique suivante concerne notre cas personnel (voir annexe 4). Elle inclut toutes les informations nécessaires pour la fabrication de notre prothèse dentaire.

Nom et Prénom : S. W

Age : 40 ans

Adresse : Tizi Ouzou

Numéro de Téléphone : 05/.../.../...

### IV.4.3 Le déroulement du processus de fabrication de la prothèse dentaire avec l'impression 3D

Nous avons pris une photo des dents naturelles de la patiente avant le début du processus de fabrication.



**Figure IV.14:** Photo des dents avant l'intervention prise Sur une patiente à la clinique MERIDJI.

#### IV.4.3.1 Taillage des dents

La patiente présente une édentation partielle au niveau du secteur postérieur gauche présente dans la figure IV.15. Afin de restaurer l'esthétique et la fonction masticatoire, un bridge de quatre éléments a été planifié. La deuxième prémolaire (25) et la deuxième molaire (27) ont été sélectionnées et préparées comme dents piliers. Les dents 24 et 26, absentes, ont été remplacées par des pontiques anatomiques. Après avoir pris une photo des dents naturelles de la patiente,

nous avons procédé à la préparation des dents piliers. Cette étape a été réalisée par le dentiste, qui a soigneusement taillé les dents 25 et 27 afin de les adapter au futur bridge dentaire.



**Figure IV.15:** Préparation des dents après le taillage  
Pour le bridge dentaire.

### IV.4.3.2 Prise l’empreinte à l'aide du scanner intra-oral

Après le taillage des dents, nous avons procédé à la prise de l'empreinte numérique comme illustre la figure IV.16 en utilisant le scanner intra-oral. Tout d'abord, la patiente a été installée confortablement sur le fauteuil dentaire, dans une position qui permettait un accès optimal à la zone à scanner. Ensuite, nous avons positionné le scanner intra-oral dans la bouche de la patiente.



**Figure IV.16:** Prise de l'empreinte numérique effectuée  
Par nous deux avec le scanner intra-oral

## Chapitre IV :Réalisation de prothèses dentaires avec l'impression 3D et l'usinage

Le scanner fonctionne grâce à une technologie de capture optique, qui envoie des faisceaux lumineux UV sur les dents et les tissus buccaux, comme le montre la figure IV.16.



Figure IV.17: Scanner intra orale en bouche.

Ces faisceaux captent les formes et les contours de la dentition, générant des images détaillées et tridimensionnelles des surfaces dentaires. Les images sont ensuite transmises en temps réel à l'ordinateur, où elles s'affichent via le logiciel Carestream, tel que présenté sur la figure IV.18.

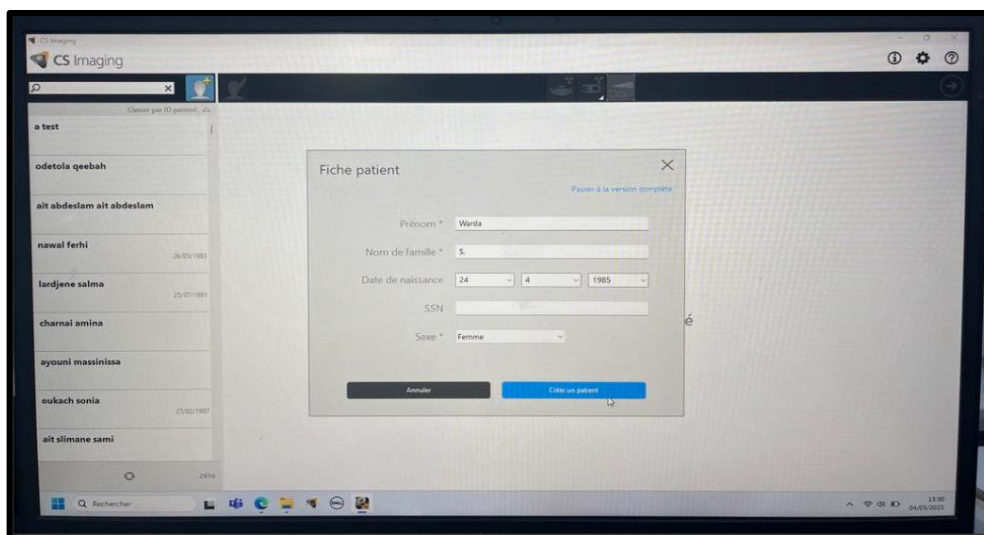
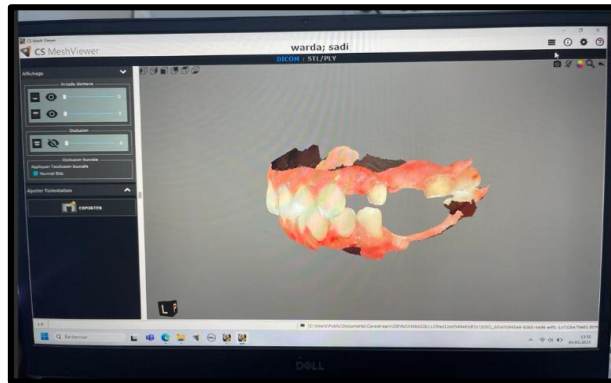


Figure IV.18: L'interface de logiciel 'carestream'

Le logiciel traite les données capturées par le scanner et génère un modèle numérique en 3D précis de la dentition de la patiente, comme le montre la figure IV.19, visible directement sur l'écran de l'ordinateur. Ce modèle nous permet de vérifier l'exactitude de l'empreinte et de

procéder aux ajustements nécessaires pour garantir un bon ajustement de la future prothèse dentaire.



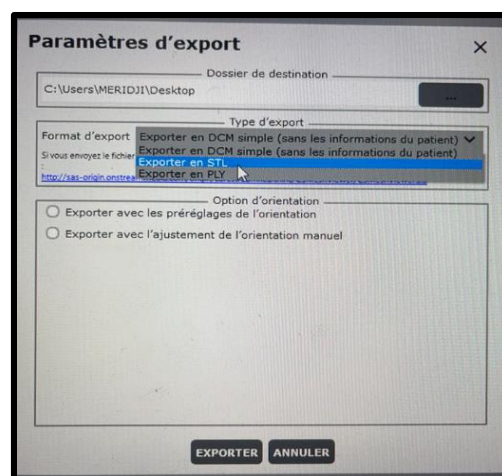
**Figure IV.19:** Un modèle numérique en 3D précis  
De la dentition de la patiente.

### IV.4.3.3 Conception de la prothèse dentaire

La conception de la prothèse dentaire repose sur l'utilisation de logiciels spécialisés permettant de modéliser avec précision les éléments prothétiques. Dans notre cas, deux logiciels ont été utilisés de manière complémentaire : **Exocad** pour la modélisation anatomique de la prothèse, et **Raydent** pour la préparation à l'impression 3D.

#### -Conception de bridge Avec le logiciel Exocad

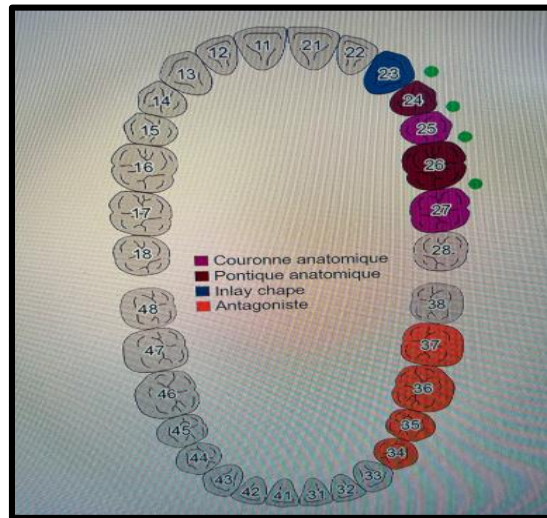
Après avoir pris l'empreinte numérique, nous avons exporté le fichier de l'empreinte, au format STL comme le montre figure IV.20, depuis l'ordinateur relié au scanner intra-oral. Nous l'avons ensuite transféré sur un flash disque (clé USB), ce qui nous a permis de l'importer sur un autre ordinateur équipé du logiciel Exocad afin de commencer la modélisation de la prothèse.



**Figure IV.20:** L'exportation de fichier  
En format STL.

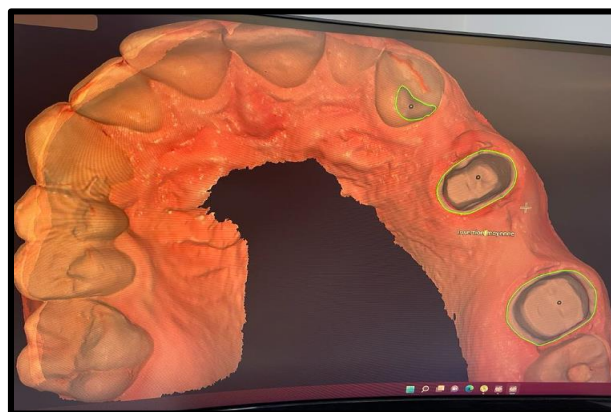
## Chapitre IV :Réalisation de prothèses dentaires avec l'impression 3D et l'usinage

Tout d'abord, nous avons sélectionné le type de prothèse à concevoir, à savoir un bridge de quatre éléments destiné à restaurer une édentation partielle. Ensuite, à l'aide du logiciel Exocad, nous avons indiqué les dents à restaurer ainsi que le type de reconstitution pour chacune, comme illustré à la figure IV.21. Dans notre cas, les dents 25 et 27 sont désignées comme dents piliers recevant des couronnes anatomiques (en violet), tandis que les dents 24 et 26 constituent les pontiques anatomiques (en bordeaux). La dent 23 est définie comme inlay chape (en bleu). Les dents colorées en orange correspondent aux antagonistes, scannés pour assurer un bon rapport occlusal.



**Figure IV.21:** Sélection des dents à concevoir

Ensuite, nous avons défini les limites d'insertion de la prothèse en traçant les lignes de préparation autour des dents taillées, à savoir la 25 (première prémolaire supérieure gauche) et la 27 (deuxième prémolaire supérieure gauche), qui servent de piliers pour le bridge, comme le montre la figure IV.22.



**Figure IV.22:** Délimitation des dents pilier 25 et 27 sur Exocad.

Puis, nous avons utilisé le logiciel Exocad pour visualiser et corriger les ajustements, afin de garantir une adaptation parfaite du bridge. Grâce aux vues colorées, nous avons affiné les détails et modélisé la forme pour qu'elle s'adapte précisément aux dents préparées, comme illustré à la figure IV.23.



Figure IV.23: Ajustement et modelage du bridge sur Exocad.

### -Conception de Bridge Avec le logiciel Raydent

Après avoir finalisé la conception de la prothèse sur Exocad, nous avons transféré le fichier au format STL vers le logiciel **Raydent**. Puis nous avons procédé à plusieurs étapes :

**Vérification du modèle** : nous avons contrôlé que toutes les surfaces étaient correctement fermées, sans trous ni erreurs.

**Orientation** : nous avons ensuite ajusté l'orientation du bridge afin d'optimiser la qualité d'impression et de limiter le recours aux supports, comme le montre la figure IV.24.

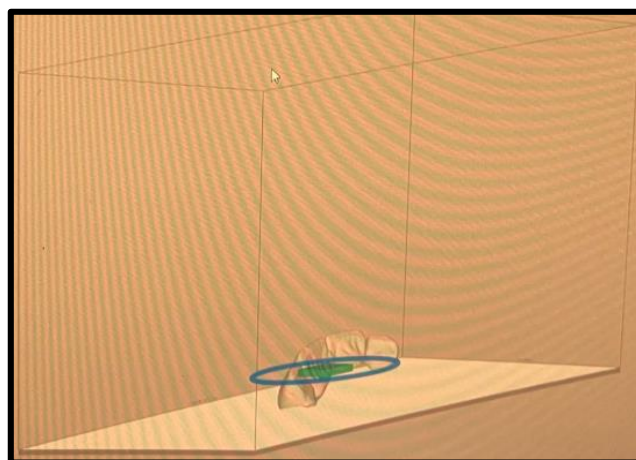


Figure IV.24: Préparation du modèle pour l'impression 3D Avec Raydent.

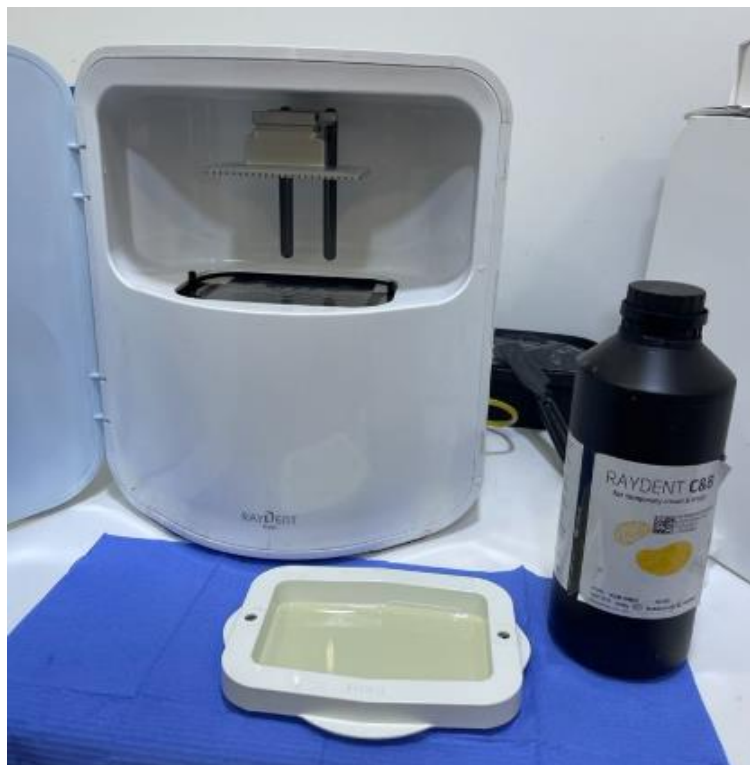
**Ajout des supports :** nous avons généré automatiquement les structures nécessaires pour maintenir la pièce durant l'impression. Ces supports sont indispensables pour éviter toute déformation pendant la fabrication, comme présenté sur la figure IV.25.



**Figure IV.25:** Visualisation du bridge avec supports dans Raydent.

### IV.4.3.4 l'impression de bridge avec l'imprimante 3D

Après la conception du Bridge nous avons lancé l'impression de la prothèse dentaire en utilisant une imprimante 3D à résine.



**Figure IV.26:** L'imprimante 3D avec une bouteille de résine.

## Chapitre IV :Réalisation de prothèses dentaires avec l'impression 3D et l'usinage

Une fois le fichier prêt et importé, la machine lance le processus d'impression couche par couche, caractéristique de la fabrication additive, afin de donner forme à la prothèse dentaire. Le fonctionnement repose sur le principe de la photopolymérisation : un bras mécanique descend progressivement dans une cuve contenant de la résine liquide, comme illustré à la figure IV.28. À chaque couche, un rayon de lumière UV vient durcir une fine épaisseur de résine selon la forme du modèle. Ensuite, le bras remonte légèrement pour permettre la formation d'une nouvelle couche, et ainsi de suite jusqu'à l'obtention complète de Bridge.

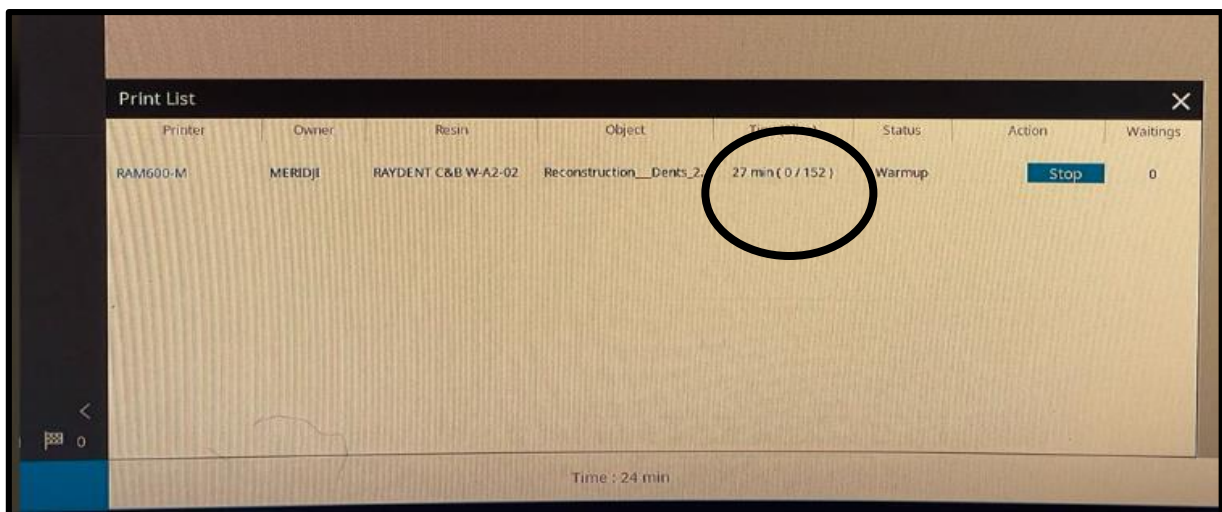


**Figure IV.27:** Position initiale du bras avant le début de l'impression.



**Figure IV.28:** Descente du bras dans la cuve à résine lors de l'impression.

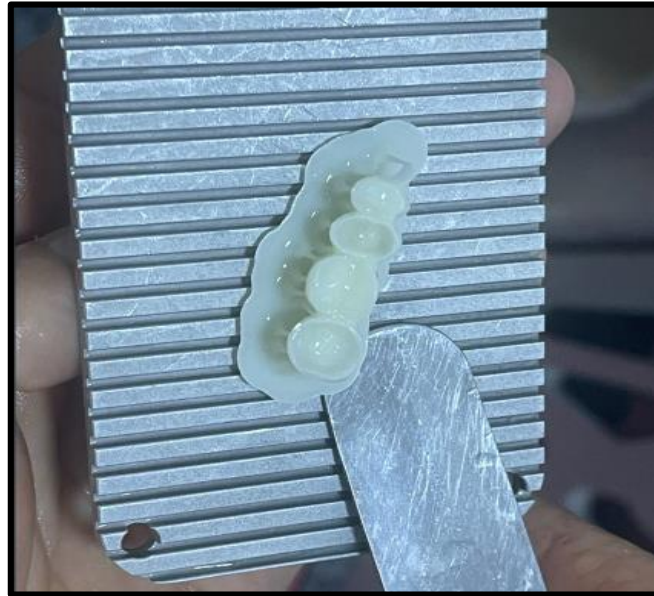
La figure IV.29 montre l'interface du logiciel indiquant le temps estimé nécessaire à la fabrication complète du bridge dès le lancement du processus.



**Figure IV.29:** Temps estimé pour la fabrication de bridge.

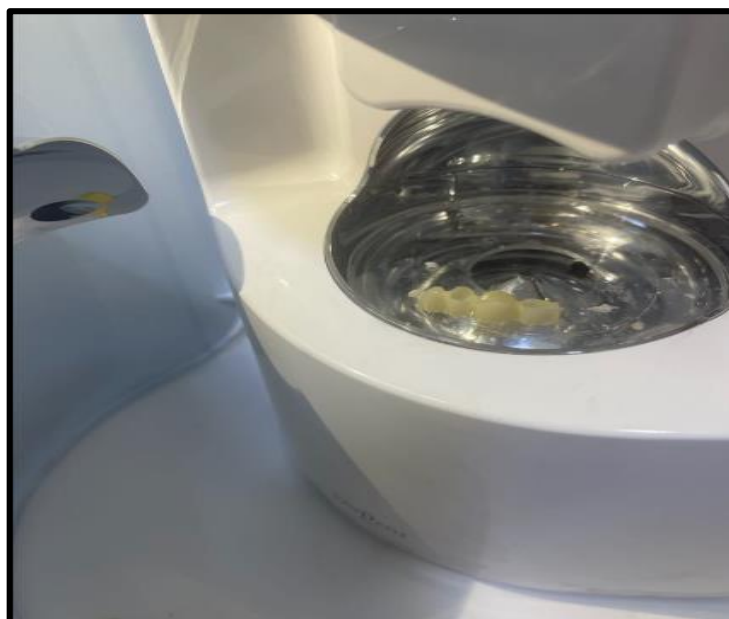
#### **IV.4.3.5 polymérisation de la prothèse dentaire Bridge**

Après la fin de l'impression, nous avons obtenu le bridge accompagné de ses supports, encore recouvert de résine non durcie, comme le montre la figure IV.30.



**Figure IV.30:** Bridge après impression 3D avec supports.

Avant de procéder à leur retrait, nous avons placé la prothèse dans une unité de polymérisation UV. Cet appareil émet une lumière ultraviolette qui permet de durcir complètement la résine, assurant ainsi la solidité et la stabilité dimensionnelle du bridge.



**Figure IV.31:** Polymérisation du bridge dans l'unité UV.

### IV.4.3.6 Les Finitions de la réalisation de Bridge a l'impression 3D

Après avoir terminé avec la phase de polymérisation, nous avons entamé la phase de finition, qui permet d'optimiser l'aspect et le confort de la prothèse. Cette étape comprend deux étapes essentielles : le dégrossissage et le polissage

**Dégrossissage :** Nous avons commencé par le dégrossissage comme le montre la figure IV.32, qui nous a permis d'éliminer les excès de matière et d'uniformiser la surface de la prothèse.



Figure IV.32: Etape de dégrossissage de bridge

**Polissage :** Nous sommes ensuite passées au polissage, afin de lisser la surface et de donner à la prothèse un aspect brillant et esthétique comme montre la figure IV.33.



Figure IV.33: Polissage de la prothèse à l'aide d'une micromoteuse.

Pour terminer le processus de fabrication de la prothèse dentaire (Bridge), nous effectuons un contrôle final afin de vérifier que la prothèse présente un bon état de surface et qu'elle soit prête pour l'essayage ou la pose sur la patiente.

### IV.4.3.7 Résultat final de la prothèse bridge

Après avoir réalisé toutes les étapes de la conception à la finition nous avons pu obtenir cette prothèse dentaire comme montre la figure IV.34, prête à être posée sur le patiente.



Figure IV.34: Résultat final d'un Bridge dentaire en 3D.

### IV.4.3.8 Ajustement du bridge dentaire 3D sur la patiente

Après la fabrication du bridge dentaire en impression 3D, nous avons procédé à l'essayage de bridge sur la patiente pour vérifier l'ajustement et l'esthétique de la prothèse. Cette étape essentielle nous a permis de confirmer que le bridge répondait aux exigences fonctionnelles et esthétiques. Ci-dessous, une photo de la patiente avec le bridge dentaire en place, montrant le résultat final de l'essayage.



Figure IV.35: Dentition de la patiente après  
Le placement du bridge en résine.

### **Partie 2 : Réalisation de la couronne dentaire par usinage**

Dans cette partie, nous présenterons de manière détaillée l'ensemble du processus de fabrication d'une couronne dentaire par usinage. Nous commencerons par l'identification des appareils, du matériel et des matériaux nécessaires à cette fabrication, puis nous décrirons, étape par étape, le déroulement du processus de conception et d'usinage. Cette approche permettra de mieux comprendre l'organisation et la précision qu'exige la réalisation d'une couronne prothétique en dentisterie numérique.

#### **IV.5 Les appareils, matériels et matériaux de fabrication de la couronne en zircone**

Dans cette section, nous présenterons les principaux appareils, matériels et matériaux utilisés pour la fabrication d'une couronne dentaire par usinage, avant de détailler les étapes du processus.

##### **IV.5.1 Les appareils utilisés dans la fabrication de la couronne dentaire**

Voici une présentation des différents appareils impliqués dans la fabrication d'une couronne par usinage, depuis la numérisation de l'empreinte jusqu'à l'usinage final.

###### **IV.5.1.1 Le Scanner intraorale**

Pour la prise d'empreinte optique, nous avons utilisé un scanner intraoral de marque Carestream, modèle CS 3600 qu'illustre la figure IV.36, il est équipé d'une caméra optique de haute précision et il fonctionne en projetant une lumière structurée sur les dents et les tissus buccaux, puis en capturant en temps réel les images 3D grâce à sa caméra optique, permettant ainsi de reconstruire numériquement l'empreinte dentaire du patient.



**Figure IV.36:** Le scanner intra orale.

### IV.5.1.2 Les logiciels de conception

Nous avons utilisé plusieurs logiciels spécifiques pour la conception, la modélisation et la fabrication des prothèses dentaires. Nous allons présenter ci-dessous les principaux logiciels employés à chaque étape du processus.

#### **A-Carestream**

C'est un logiciel utilisé pour la prise d'empreinte optique intra-orale. Grâce à une caméra **3D**, il permet de capturer avec précision la morphologie dentaire et gingivale du patient, sans avoir recours aux empreintes traditionnelles en silicone. Les données obtenues sont immédiatement converties en un modèle numérique tridimensionnel, sous forme de fichier **STL**, prêt à être utilisé pour la conception prothétique.

#### **B-Exocad**

C'est un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (**CAO**) spécialement conçu pour le domaine dentaire. Il est largement utilisé dans les laboratoires de prothèse pour la modélisation numérique de restaurations dentaires, telles que les couronnes, les bridges, les inlays, les onlays ou encore les prothèses implantaires. Grâce à une interface intuitive et à une large gamme d'outils, Exocad permet à l'utilisateur de définir précisément les paramètres de la prothèse, comme le type de restauration, sa forme, son ajustement, ainsi que le matériau qui sera utilisé pour la fabrication (zircone, céramique, etc.). Ce logiciel offre également la possibilité de visualiser la prothèse dans son environnement buccal numérisé, permettant un ajustement optimal en fonction de l'occlusion et de l'anatomie du patient.

#### **C-Hyperdent**

C'est un logiciel de la Fabrication Assistée par Ordinateur (**FAO**) utilisé pour la préparation des fichiers destinés à l'usinage des prothèses dentaires. Il intervient après la phase de conception réalisée sur un logiciel de **CAO** tel qu'Exocad. Son rôle principal est de convertir le modèle numérique en un programme d'usinage optimisé, en générant les trajectoires que suivront les outils de la machine. Hyperdent assure ainsi la transition entre la conception virtuelle et la fabrication physique, en garantissant un positionnement stratégique dans le disque, un choix précis des fraises, et des paramètres adaptés à la géométrie de la pièce.

### IV.5.1.3 L'usineuse

Dans notre travail pratique, nous avons utilisé l'usineuse **SX-300 Pro** de la marque **Arum**, illustrée à la figure IV.37. Il s'agit d'un appareil de haute précision, spécifiquement conçu pour l'usinage de prothèses dentaires à partir de fichiers numériques générés via des logiciels de conception assistée par ordinateur **CAO**. Grâce à sa technologie de pointe, cette machine offre une grande stabilité, une excellente reproductibilité des formes, ainsi qu'une capacité à travailler divers matériaux dentaires tels que la zircone, la céramique, ou encore les métaux. Son automatisation avancée permet une production rapide et fiable, répondant aux exigences élevées de la dentisterie numérique moderne. La SX-300 Pro constitue ainsi un outil central dans les laboratoires prothétiques intégrant des solutions **CFAO** complètes.

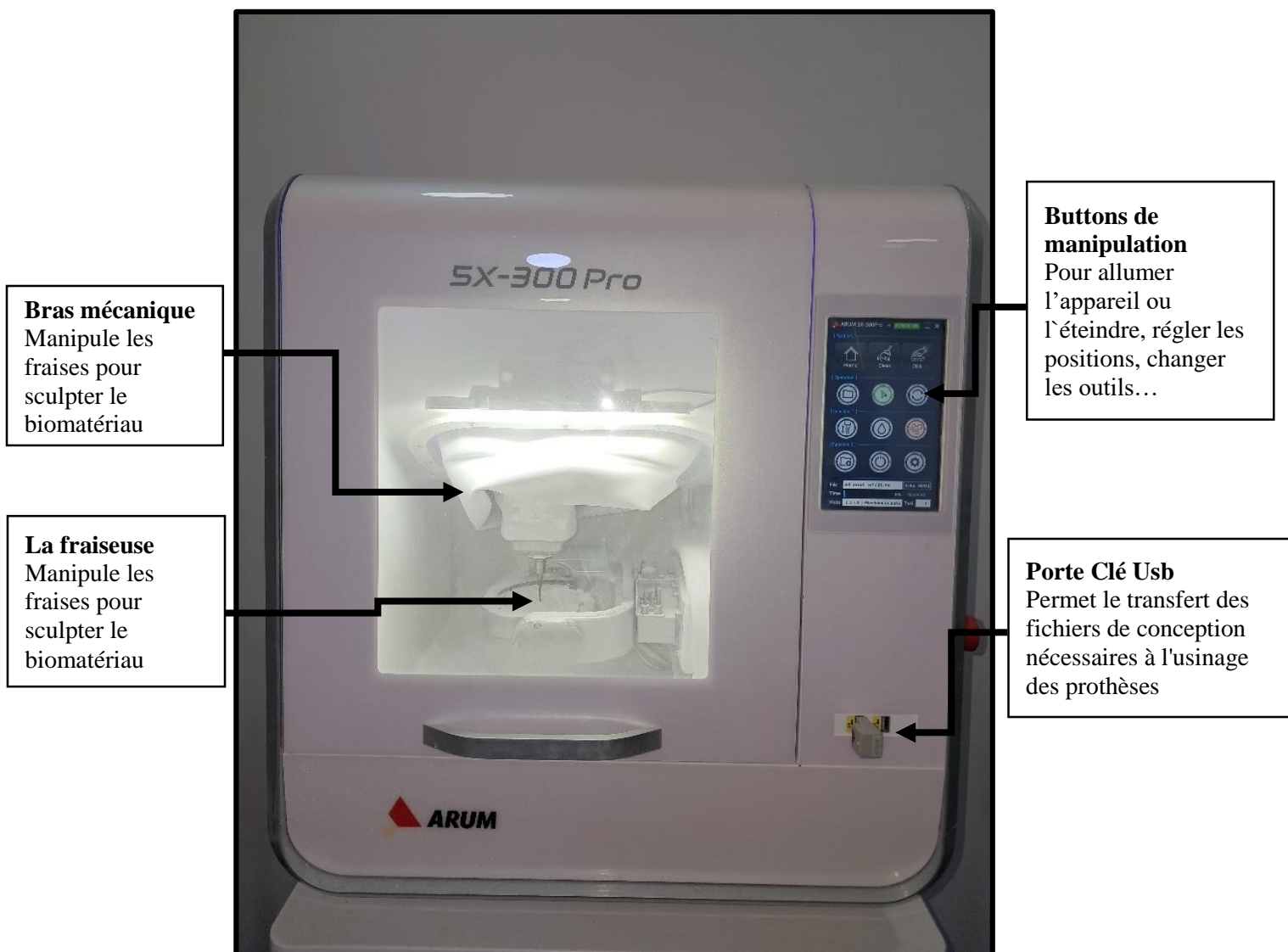


Figure IV.37: L'usineuse -clinique Moujahid Miriji de Tiziouzou

### IV.5.1.4 La sableuse

Nous avons utilisé une sableuse de marque Refert, modèle Basic Eco (voir Figure IV.38), un équipement incontournable dans le processus de finition des prothèses dentaires. Cet appareil permet d'éliminer de manière précise et efficace les impuretés, poussières et résidus présents à la surface de la prothèse, garantissant ainsi une propreté optimale indispensable avant les étapes ultérieures tel que le glaçage. Grâce à son action contrôlée, la sableuse crée une microrugosité homogène sur la surface, ce qui améliore considérablement l'adhérence des matériaux de finition, assurant ainsi la solidité, la durabilité et la stabilité des restaurations dentaires. Cet appareil permet un traitement uniforme, sans risque d'endommager ou de fragiliser la structure délicate de la couronne dentaire. Cet équilibre entre efficacité abrasive et protection de la prothèse est essentiel pour garantir la qualité des restaurations. Très appréciée dans les laboratoires dentaires modernes, cette sableuse optimise non seulement la qualité des finitions mais aussi la performance globale des prothèses, contribuant ainsi à la satisfaction des patients et à la réussite des traitements prothétiques.

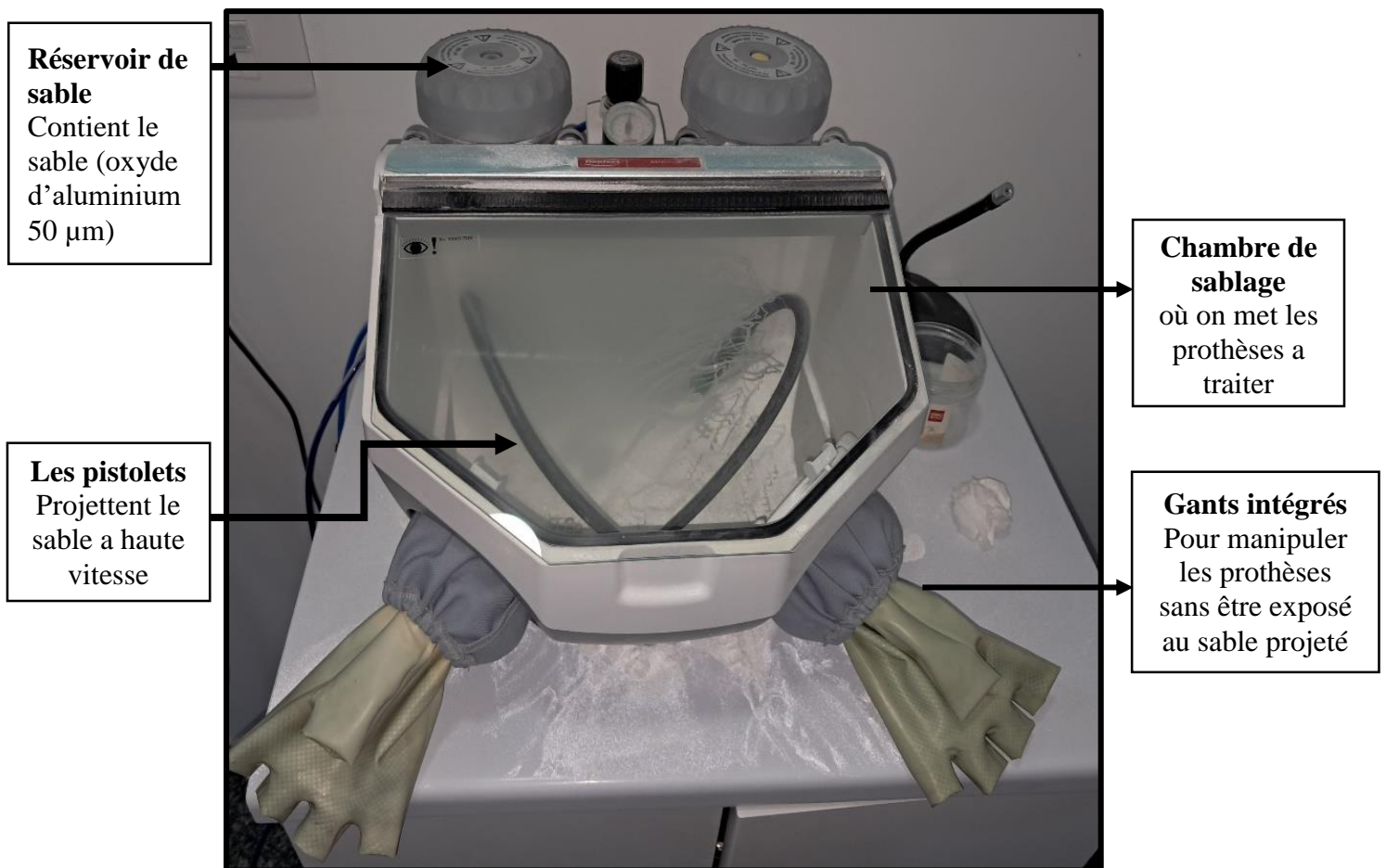


Figure IV.38: La sableuse-clinique Moujahid Miriji de Tiziouzou

### IV.5.1.5 Le four de glaçage

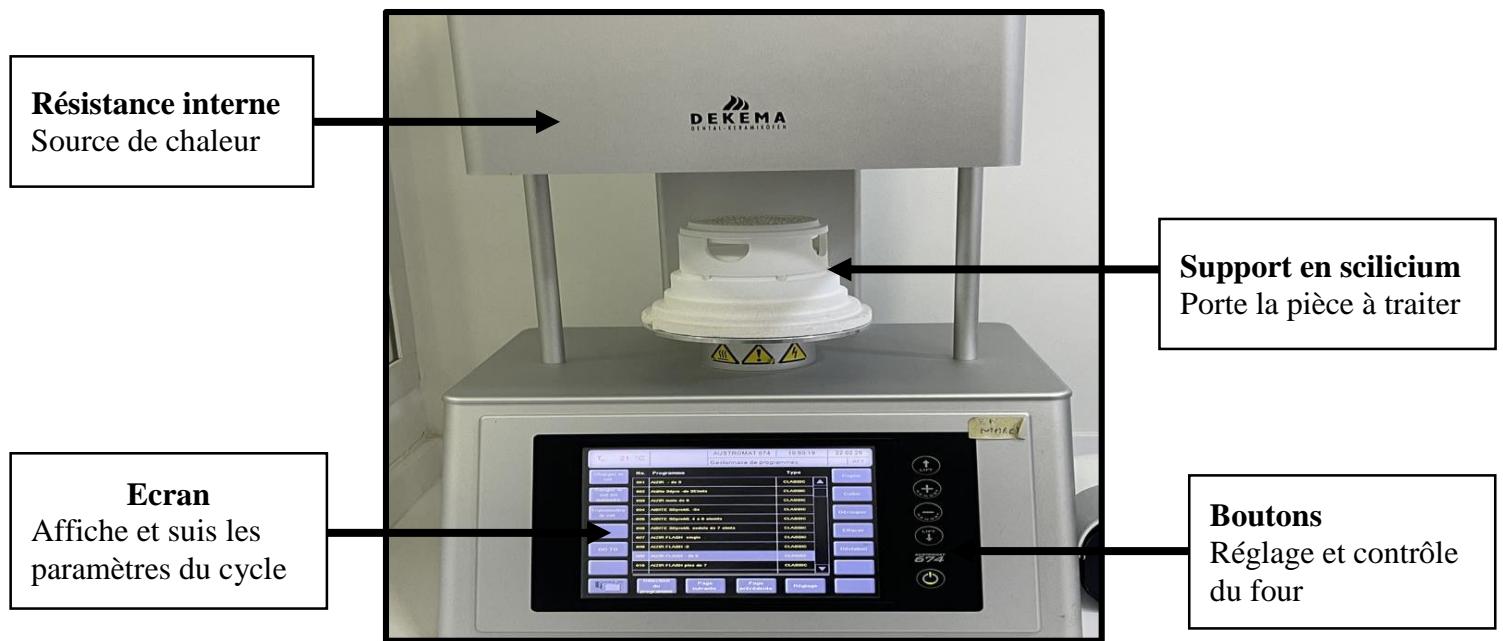
Nous avons utilisé le four de cuisson Programat P310 de la marque Ivoclar montré dans la figure IV.39, un appareil de haute précision spécialement conçu pour les procédés de cuisson en prothèse dentaire. Ce four nous a permis de réaliser avec fiabilité les étapes de cristallisation et de fixation du glaçage sur la couronne en zircone, des phases cruciales pour garantir un rendu à la fois esthétique, résistant et biocompatible. Grâce à une gestion numérique avancée de la température, cet appareil assure un contrôle thermique précis, évitant les défauts de cuisson et préservant l'intégrité des matériaux utilisés. Doté d'une interface intuitive et de programmes préconfigurés adaptés aux matériaux céramiques modernes, ce four optimise les paramètres de cuisson tout en réduisant le risque d'erreur humaine. Sa chambre de cuisson est conçue pour offrir une répartition homogène de la chaleur, assurant ainsi des résultats constants et reproductibles. Le four de glaçage est reconnu dans le domaine de la dentisterie pour sa fiabilité, sa rapidité et sa précision, le Programat P310 est largement utilisé dans les laboratoires professionnels pour sa capacité à garantir des finitions de haute qualité. Son rôle est déterminant dans l'obtention d'un aspect naturel, d'une translucidité maîtrisée et d'une résistance mécanique élevée de la prothèse finale.



Figure IV.39: Le four de glaçage- clinique Moujahid Miriji Tiziouzou

### IV.5.1.6 Le four de frittage

Nous avons utilisé un four de frittage de marque Dakema présenté dans la figure IV.40. Cet appareil permet de cuire la zircone à très haute température (environ 1500 °C), afin d'augmenter sa densité et sa résistance mécanique. Le frittage est réalisé sur un support en silicium (Si), capable de supporter ces conditions extrêmes sans altération.



**Figure IV.40:** Le four de frittage- clinique Moujahid Miriji Tiziouzou

### IV.5.1.7 Le micromoteur avec les pièces à main et fraises

Le microcontrôleur présenté ci-dessous a été utilisé avec ses différents embouts, on a utilisé la fraise fine pour détacher la couronne du disque en zircone, puis les différentes pièces a main pour le polissage et l'ajustement de la surface notre couronne.



**Figure IV.41:** Le micromoteur et les pièces à main et fraises.

### IV.5.2 Les matériels utilisés dans la fabrication de la couronne dentaire

Nous décrivons ci-dessous le matériel nécessaire au bon déroulement de la fabrication de notre couronne avec le processus d'usinage processus d'usinage.

#### IV.5.2.1 Les pinceaux et la soufflette à air comprimé

Nous avons utilisé les pinceaux et la soufflette à air comprimé pour éliminer l'excès de poudre lors du polissage ou d'usinage.



Figure IV.42: Les pinceaux.



Figure IV.43: La soufflette.

#### IV.5.2.2 Le pinceau dentaire fin

Il nous a permis d'appliquer les teintes biocompatibles conçu au glaçage des prothèses dentaires pour notre couronne.



Figure IV.44: Le pinceau dentaire.

### IV.5.2.3 Les pinces

Ces pinces nous ont permis de tenir la couronne pour pouvoir réaliser le glaçage et la mettre au four.

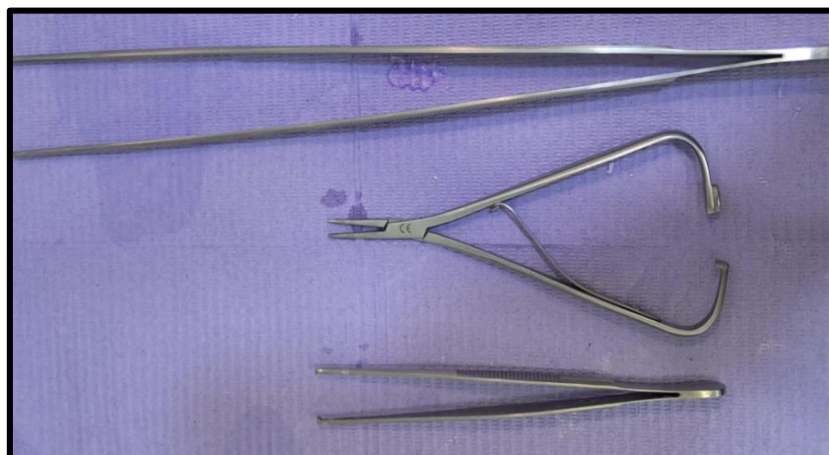


Figure IV.45: Les pinces.

### IV.5.3 Les matériaux utilisés dans la fabrication de la couronne dentaire

Dans cette section, nous citerons les matériaux utilisés tout au long de la fabrication de notre prothèse dentaire qui est une couronne unitaire en zircone réalisé avec le procédé d'usinage.

#### IV.5.3.1 La zircone

Dans notre cas, lors de la fabrication par usinage, nous avons utilisé des disques en zircone qu'on montre dans la figure IV.46, ont choisi ces disques en fonction des besoins spécifiques de chaque prothèse, car ils présentent de différentes teintes et diamètres.



Figure IV.46: Le disque en zircone.

### IV.5.3.2 L'oxyde d'aluminium

On a utilisé l'oxyde d'aluminium ( $Al_2O_3$ ) pour remplir les réservoirs de l'appareil de sablage, pour préparer et nettoyer la surface de la couronne en zircone.

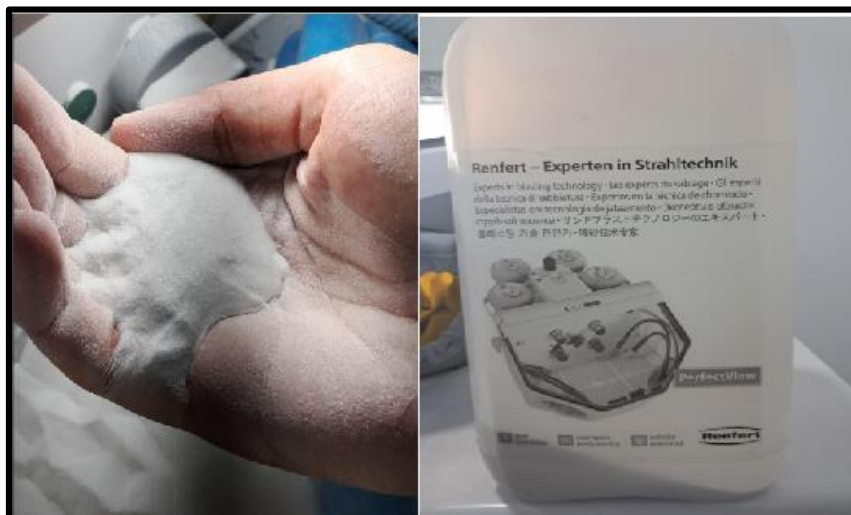


Figure IV.47: L'oxyde d'aluminium

### IV.5.3.3 Les teintes de glaçage

Pour le glaçage, nous avons mélangé les différentes teintes afin d'obtenir une couleur et une finition correspondant aux attentes esthétiques de chaque notre couronne selon la teinte originale de notre patients, cette figure montre les différentes teintes qu'on a utilisé



Figure IV.48: Les teintes de glaçage de la prothèse.

### **IV.6 Le processus de fabrication des prothèses dentaires par usinage**

Dans cette section, nous allons décrire et illustrer le déroulement complet du processus de fabrication d'une couronne dentaire par usinage, en suivant chaque étape de manière chronologique, de la conception numérique à la finition du produit final.

#### **IV.6.1 L`Anamnèse**

Madame K.F, une patiente résidant à Tizi-Ouzou, s'est présentée à la clinique dentaire Moudjahid Meridji Bahlou afin de faire réaliser une couronne sur sa première prémolaire inférieure gauche. Cette dent est dévitalisée et présente une fragilité qui nécessite la pose d'une couronne pour assurer sa stabilité et son fonctionnement.

#### **IV.6.2 La fiche technique du patient (Prothèse Dentaire Fixe-couronne)**

**Nom et prénom :** K.F

**Âge :** 54 ans

**Adresse :** Tizi-Ouzou

**Numéro de téléphone :** 06/74/....

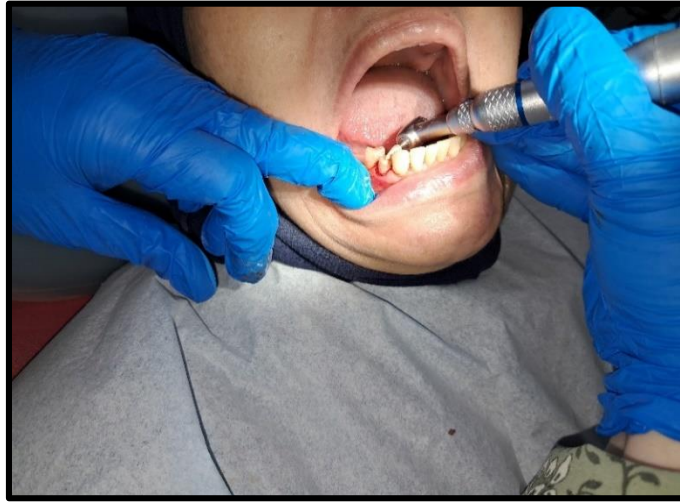
#### **IV.6.3 Déroulement de la fabrication de la couronne dentaire avec l'usinage**

Cette section détaille les différentes étapes de fabrication de la couronne dentaire, réalisées à travers le processus d'usinage, depuis la préparation initiale jusqu'à l'obtention de la prothèse finale. Elle met en évidence toutes les techniques employées pour garantir un résultat fonctionnel, durable et esthétique.

##### **IV.6.3.1 La consultation chez le dentiste**

Nous avons commencé par accompagner le dentiste lors de la consultation de Madame K. Farida, âgée de 54 ans. Cette patiente présentait une prémolaire inférieure gauche (dent 44) fragilisée à la suite d'une dévitalisation antérieure, ce qui compromettait la solidité de la dent et nécessitait une restauration durable. Après évaluation clinique, le dentiste a opté pour la pose d'une couronne en zircone, un matériau à la fois esthétique et résistant. Il a ensuite procédé au taillage de la dent afin de préparer correctement sa surface à recevoir la couronne, comme illustré dans la figure IV.49. Une fois cette étape terminée, une ordonnance technique nous a été remise (voir annexe 5), contenant toutes les informations nécessaires à la fabrication de la

prothèse, notamment la localisation de la dent (44) et la teinte à respecter (A3), pour garantir un résultat naturel et harmonieux.



**Figure IV.49:** Le taillage de la dent.

### IV.6.3.2 La prise d'empreinte optique

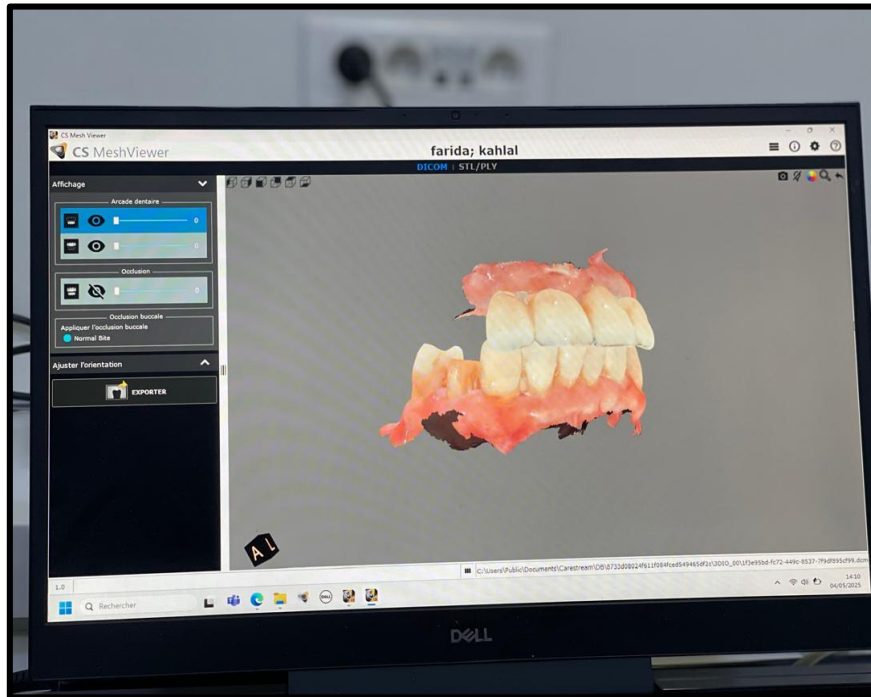
Après la préparation de la dent en cabinet, nous sommes passés à l'étape de la prise d'empreinte numérique, nous avons utilisé un scanner intra-oral Carestream CS 3600, un appareil équipé d'une caméra optique haute précision. Ce scanner projette une lumière structurée sur les dents du patient et capture en temps réel des images en 3D des structures bucco-dentaires.



**Figure IV.50:** La prise d'empreinte dentaire avec le scanner intra-oral.

## Chapitre IV :Réalisation de prothèses dentaires avec l'impression 3D et l'usinage

Nous avons d'abord scanné l'arcade inférieure, contenant la dent préparée (la 44), puis l'arcade supérieure, et enfin nous avons enregistré l'occlusion pour que la future couronne s'adapte correctement à la morsure du patient. Les images captées ont ensuite été automatiquement assemblées par le logiciel Carestream pour former un modèle numérique complet en 3D de la dentition de la patiente comme montre la figure IV.51. Ce modèle nous a permis de visualiser avec précision la dent préparée et les dents voisines.



**Figure IV.51:** L'empreinte numérique de la dentition de la patiente.

Après l'obtention de l'empreinte optique, nous avons exporté le fichier obtenu au format STL sur un support de stockage (clé USB) afin de le transférer vers le poste de conception.

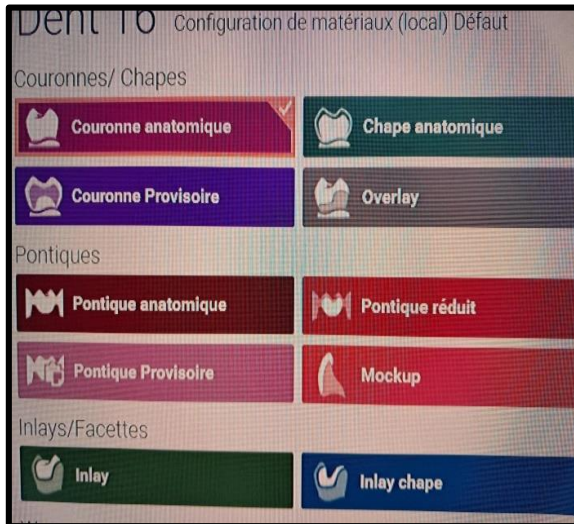
### IV.6.3.3 La conception et la fabrication assisté par ordinateur (CFAO)

Dans cette section, nous décrivons le processus de conception et de fabrication assistée par ordinateur (CAO/FAO) pour la couronne. La phase de CAO a été réalisée avec Exocad, permettant de concevoir le modèle 3D, tandis que la fabrication a été effectuée avec Hyperdent pour l'usinage du modèle final.

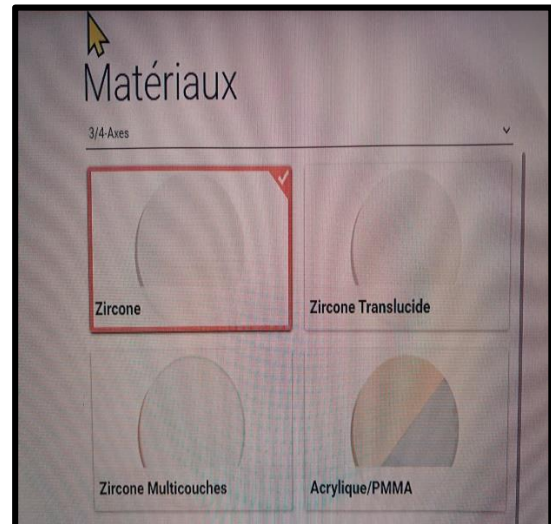
On a inséré la clé USB contenant l'empreinte numérique dans l'ordinateur équipé des logiciels spécialisés (Exocad, Hyperdent) pour débiter la phase de conception de la couronne.

### -La conception assistée par ordinateur (CAO)

Nous avons commencé par lancer le logiciel *Exocad*, dédié à la Conception Assistée par Ordinateur (CAO). Le fichier **STL** de l'empreinte numérique a ensuite été importé dans le logiciel. Nous avons sélectionné le type de restauration à réaliser, à savoir une couronne unitaire ainsi que le matériau de fabrication, en l'occurrence la zircone.

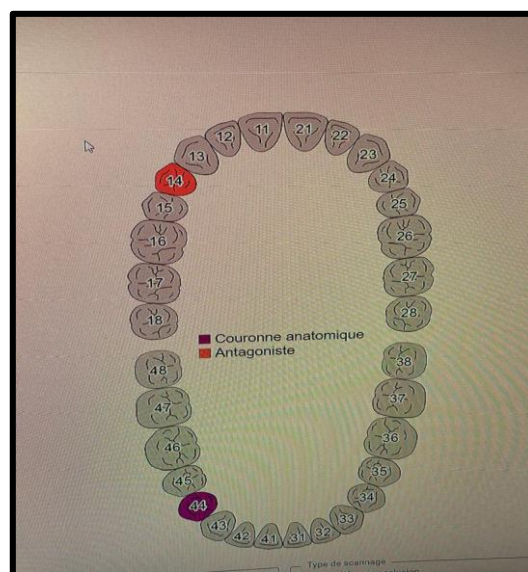


**Figure IV.52:** Le choix du type de prothèse sur exocad



**Figure IV.53:** Le choix du matériau de la prothèse sur exocad.

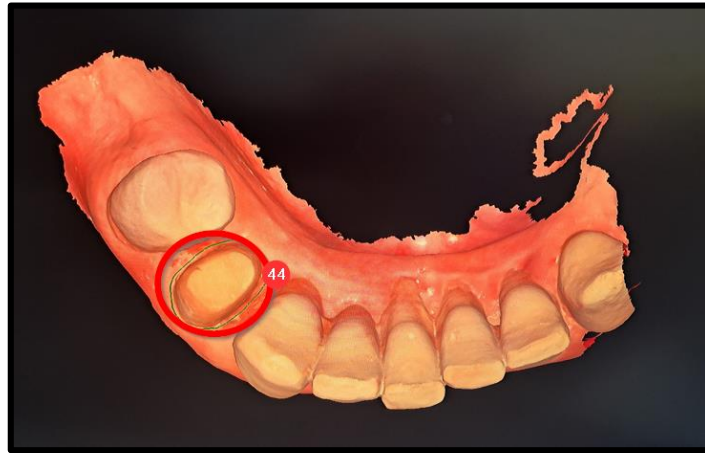
Une fois on a sélectionné dans le logiciel Exocad le type de prothèse à réaliser (une couronne unitaire) ainsi que le matériau (zircone), nous avons poursuivi en identifiant la dent à restaurer, à savoir la dent 44, via l'interface du même logiciel.



**Figure IV.54:** Le choix de la dent concerné sur exocad.

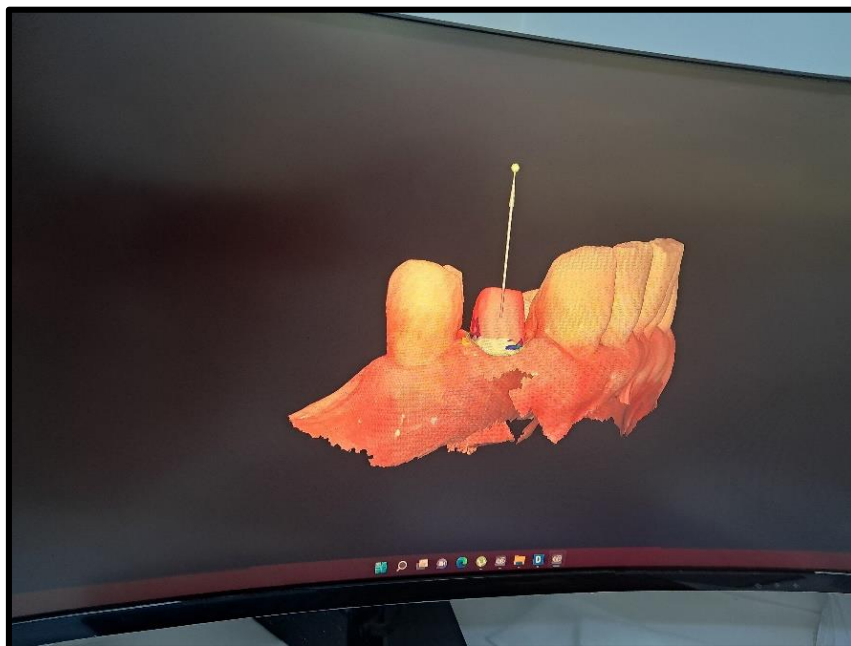
## Chapitre IV :Réalisation de prothèses dentaires avec l'impression 3D et l'usinage

Après l'identification de la dent dans Exocad, la ligne de finition a été tracée autour de la dent préparée à l'aide des outils du même logiciel. Cette opération permet de définir avec précision la limite entre la dent naturelle et la couronne, assurant ainsi un ajustement optimal de la prothèse. Elle est cruciale pour garantir une bonne adaptation de la couronne, tant sur le plan esthétique que fonctionnel, tout en prévenant l'accumulation de plaque dentaire.



**Figure IV.55:** La définition des contours de la couronne sur exocad.

La dernière étape que nous avons effectuée sur le logiciel Exocad consiste à définir l'axe d'insertion. Cette opération permet de déterminer la direction dans laquelle la couronne sera posée sur la dent préparée, assurant ainsi un bon emboîtement, sans interférences, et une précision optimale lors de l'usinage.



**Figure IV. 56:** La définition de l'axe d'insertion de la couronne sur exocad.

Une fois la conception terminée sur Exocad et après vérification des détails tels que les contacts occlusaux et l'ajustement, le modèle 3D final de la couronne a été obtenu, ci-dessous l'illustration de ce modèle.

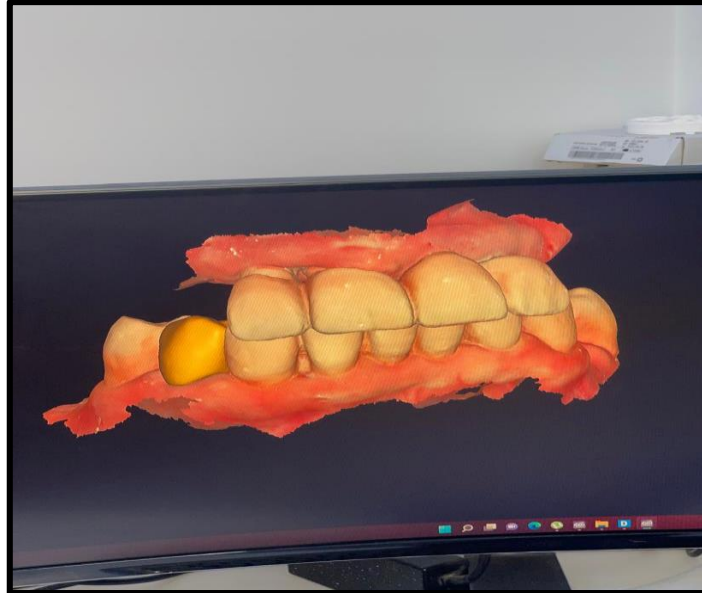


Figure IV.57: Le modèle prêt à la FAO.

### -La fabrication assistée par ordinateur (FAO)

Après la conception sur Exocad, nous avons importé le fichier STL de la couronne dans **HyperDent** qui est le logiciel de fabrication assistée par ordinateur qui assure la transition entre la conception numérique sur Exocad et l'usinage physique de la couronne.

Dans Hyperdent, la couronne est affichée avec des zones bleues représentant les épaisseurs du matériau, servant de repères pour assurer un usinage précis et conforme.

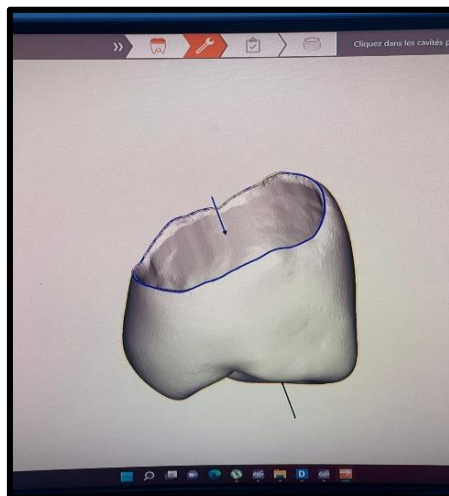
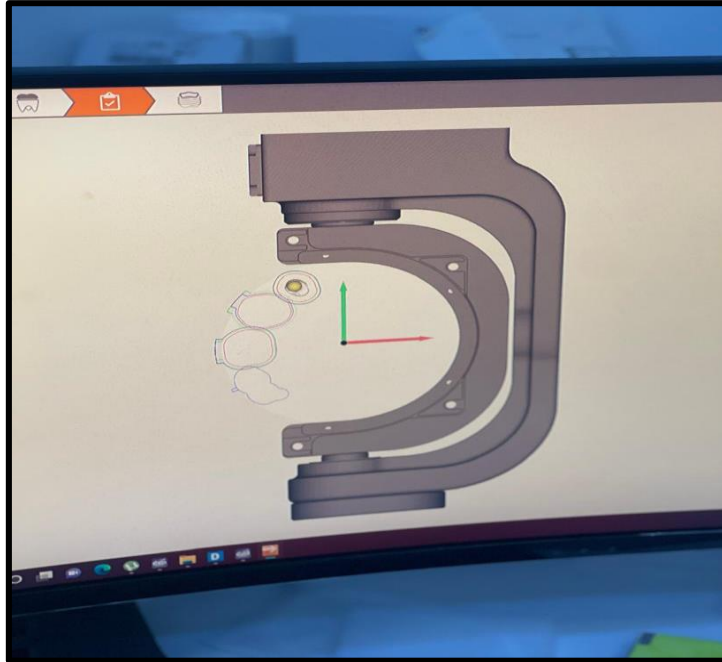


Figure IV.58: La couronne sur l'interface du logiciel Hyperdent.

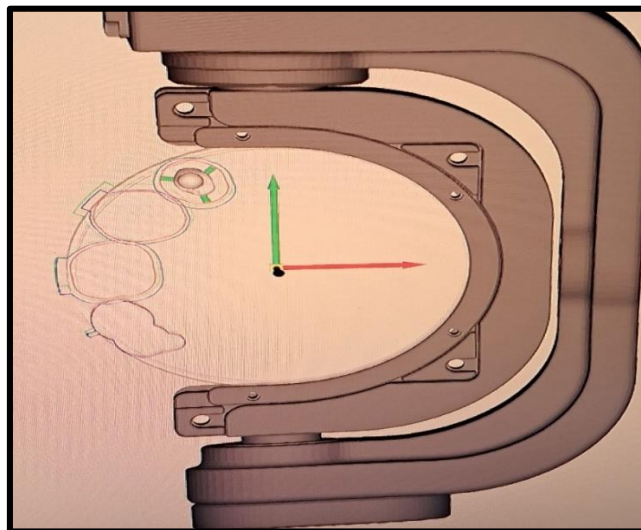
## Chapitre IV :Réalisation de prothèses dentaires avec l'impression 3D et l'usinage

Dans la continuité du processus de fabrication numérique sur le logiciel Hyperdent, nous avons procédé à l'insertion de la couronne dans le disque de zircone modélisé sur ce même logiciel. Ce positionnement stratégique vise à optimiser l'utilisation de la matière tout en assurant la stabilité de la pièce durant l'usinage.



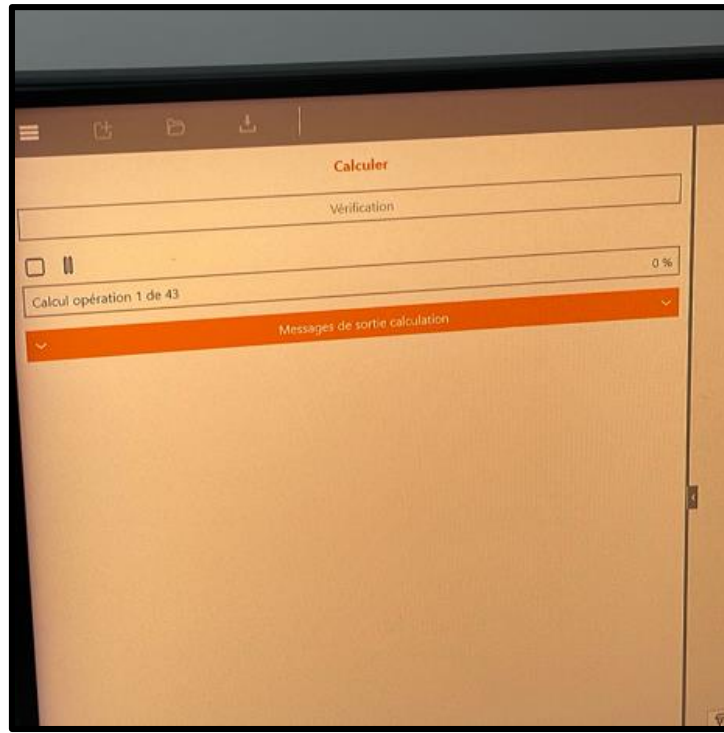
**Figure IV.59:** La couronne positionné dans le disque en zircone.

Nous avons poursuivi notre processus de fabrication numérique avec la définition des connecteurs , indispensables pour fixer la couronne au disque de zircone pendant l'usinage.



**Figure IV.60:** La définition des connecteurs (apparu en vert) De la couronne avec le disque de zircone.

Toujours sur le logiciel Hyperdent, nous avons ensuite lancé une étape essentielle de la fabrication assistée par ordinateur (FAO) : le calcul des trajectoires d'usinage comme montre laa figure suivante :



**Figure IV.61:** Le lancement du calcul de la trajectoire Du processus de l'usinage.

L'étape du calcul de trajectoire constitue une phase clé du processus d'usinage, car elle permet de générer automatiquement le programme de fabrication numérique que la fraiseuse suivra pour sculpter la couronne dans le disque de zircone. Ce programme, souvent appelé fichier d'usinage, regroupe l'ensemble des instructions détaillées nécessaires à la réalisation précise de la prothèse : les trajectoires exactes des fraises, les axes de déplacement (X, Y, Z), les vitesses d'avance, le choix des outils de coupe, ainsi que les profondeurs de passe à respecter selon les zones à travailler. Ces paramètres sont soigneusement calculés pour optimiser le temps d'usinage tout en assurant une qualité irréprochable du produit fini. Le programme intègre également les deux phases essentielles de fabrication : d'abord le dégrossissage, qui consiste à retirer rapidement le surplus de matière et à dégager les formes principales de la couronne, tout en minimisant les contraintes mécaniques sur l'outil et la pièce ; puis la finition, plus lente qui permet de reproduire fidèlement les détails complexes de l'anatomie dentaire, d'atteindre les dimensions précises et d'assurer un état de surface lisse et régulier. Cette étape est indispensable, car elle constitue le lien direct entre la conception virtuelle (réalisée en CAO) et

la fabrication physique. Elle garantit une exécution fidèle du modèle numérique, assure la cohérence technique de l'ensemble du processus, et permet à la fraiseuse d'interpréter les données numériques avec exactitude pour produire une prothèse de haute qualité, aussi bien sur le plan fonctionnel qu'esthétique, Ci-joint le programme de conception qu'on a obtenu :



```
kahlal - Bloc-notes
Fichier  Modifier  Affichage
G53 Z0.0
G53 X0.0 Y0.0
G53 A0.0 B0.0
( G55(DISC) )
G53 Z0
G53 X0 Y0
G53 A0.0 B0.0
T01
S25000
M1
G53 Z0.0
G53 X0.0 Y0.0
G55(DISC)
G00 G90 A0. B-180.
X18.973 Y34.772
G43 H1 Z12.
M28
G4 X1.0
Z9.02
G01 Z8.02 F1600.
X18.754 Y34.632 Z7.76 F1600.
X18.973 Y34.772 Z7.5
X18.673 Y34.536
X18.576 Y34.419
X18.64 Y34.361
X18.972 Y34.761
X18.879 Y33.179
X18.759 Y35.294
X18.652 Y35.272
X18.128 Y34.936
X18.04 Y34.757
X17.725 Y33.27
X17.79 Y33.155
X17.873 Y33.163
X18.918 Y33.778
X19.455 Y34.397
X19.598 Y34.74
X19.58 Y35.576
X19.273 Y35.598
X18.98 Y35.482
X18.652 Y35.272
X18.459 Y35.216
X17.825 Y35.217
X17.581 Y45.171
X17.491 Y34.888
X16.898 Y32.366
X16.92 Y32.369
X17.003 Y32.199
X17.186 Y32.187
X17.365 Y32.255
X17.541 Y32.423
X17.717 Y32.591
```

Figure IV.62: Le programme obtenu après le calcul.

Le fichier contenant le programme généré par le calcul des trajectoires est ensuite exporté vers un support de stockage (clé USB) pour être transféré à la machine d'usinage.

### IV.6.3.4 L'usinage de la couronne

Le processus d'usinage débute par l'insertion de la clé USB contenant le programme généré dans Hyperdent. Une fois ce dernier chargé, on place un disque en zircone et on le fixe sur la broche de la machine pour assurer sa stabilité tout au long de l'opération. Il s'agit d'un procédé de fabrication **soustractive**, où la matière est progressivement enlevée d'un bloc solide pour obtenir la forme désirée. Le bras robotisé sélectionne automatiquement la fraise adaptée parmi celles disponibles et commence à sculpter la couronne en suivant fidèlement les trajectoires définies dans le programme. Au fur et à mesure du processus, le bras

## Chapitre IV :Réalisation de prothèses dentaires avec l'impression 3D et l'usinage

reprend ou sélectionne successivement des fraises de plus en plus fines pour affiner les zones détaillées de la prothèse. Le disque de zircone est ainsi usiné progressivement, jusqu'à obtenir une couronne conforme au modèle numérique initial, cette étape a été réalisée en 28 minutes, la figure ci-dessous montre la fraise entrain de sculpter dans le disque en zircone pour obtenir la couronne souhaitée.



**Figure IV.63:** La sculpture de la couronne dans le disque En zircone avec la fraiseuse.

Après l'usinage, bien que la couronne soit terminée, elle est restée attachée au disque de zircone



**Figure IV.64:** La couronne en zircone retiré de l'appareil d'usinage.

### IV.6.3.5 Le détachement et polissage de la couronne

On a ensuite procédé au retrait de la couronne du disque de zircone à l'aide d'une fraise fine, en coupant les connecteurs restants.



**Figure IV.65:** Le détachement de la couronne en zircone.

Après avoir détacher la couronne du disque de zircone, on a effectué son polissage initial pour pouvoir éliminer les irrégularités de surface laissées par l'usinage comme montre la figure suivante :



**Figure IV.66:** Le polissage de la couronne.

### IV.6.3.6 Le frittage de la couronne

Lorsque on a terminé le polissage, on a préparé la couronne pour l'étape de frittage, qui est essentielle à la consolidation du matériau. On a d'abord allumé le four, puis nous avons placé la couronne sur un support en silicium adapté comme montre la figure IV.67, ensuite on a programmé le cycle de cuisson selon les paramètres spécifiques au matériau utilisé (la zircone), le temps de cuisson a été affiché automatiquement qui est 1heure et 58 minutes, on a confirmé les réglages, et le processus de frittage a été lancé. Il consiste à chauffer la couronne à haute température pour densifier la zircone, lui conférant sa solidité finale et ses propriétés mécaniques optimales.

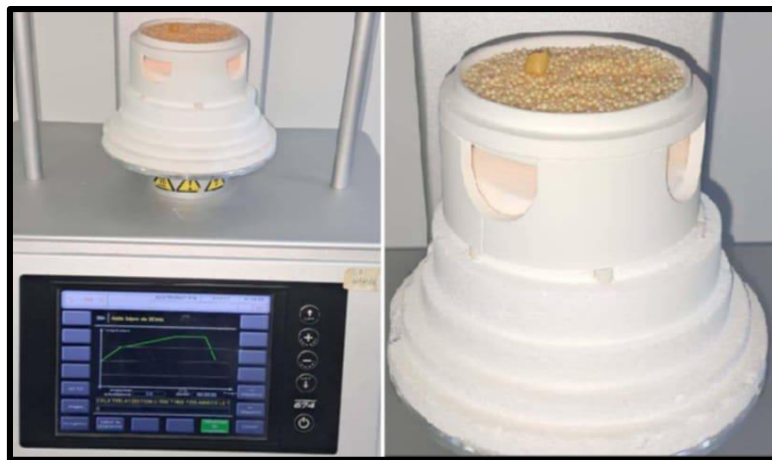


Figure IV.67: La prothèse mise au four de frittage.

### IV.6.3.7 Le sablage

Nous avons ensuite placé la couronne frittée dans l'appareil de sablage pour éliminer les impuretés résiduelles et rendre la surface légèrement rigoureuse. Cette étape est essentielle pour favoriser une meilleure adhérence des matériaux de glaçage lors de l'étape suivante.

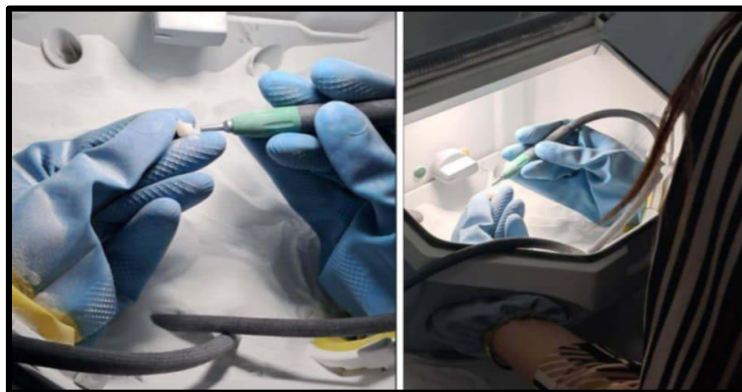


Figure IV.68: Sablage de la couronne dentaire.

### IV.6.3.8 Le glaçage

La surface de la couronne a bien été préparée, nous avons donc commencer à appliquer un glaçage a notre couronne afin de lui conférer une brillance naturelle ainsi qu'une teinte proche de celle des dents de notre patiente. Pour choisir la teinte appropriée, nous nous sommes référés au tableau de teinte, qui regroupe les différentes nuances standardisées. La couleur la plus proche de celle des dents du patient (A2) a été sélectionnée, puis appliquée à l'aide d'un pinceau et la teintes céramiques biocompatibles.



**Figure IV.69:** Le tableau de teintes dentaires.



**Figure IV.70:** Le glaçage de la couronne.

### IV.6.3.9 La cuisson au four de glaçage

Pour appliquer le glaçage et obtenir un aspect esthétique brillant, nous avons placé la couronne dans le four de glaçage montré en figure IV.70. Après avoir allumé le four et placé la couronne sur son support, nous avons programmé le cycle de cuisson selon les paramètres adaptés à la zircone et au glaçage. Le temps de cuisson a été affiché (20 minutes) avant de confirmer les réglages. Après la confirmation le processus de cuisson a été lancé, le four a chauffé la couronne à une température d'environ 900°C pour permettre au glaçage de fondre et de se fixer uniformément, créant ainsi une surface lisse et brillante.



**Figure IV.71:** La couronne dans le four de glaçage.

L'étape de glaçage a constitué la dernière étape du processus de fabrication de la couronne, Voici donc le résultat final de la couronne, prête pour l'essayage en bouche :



**Figure IV.72 :** La couronne en zircone fini.

### IV.6.3.10 La livraison et l'essai clinique

La couronne a été remise à la patiente pour un essai clinique, durant lequel nous avons vérifié l'ajustement, l'occlusion et l'esthétique. La couronne s'est parfaitement adaptée, ne nécessitant aucun ajustement, et la patiente a exprimé sa satisfaction. Voici les photos de la bouche de la patiente avant et après la réalisation de la couronne.



**Figure IV.73:** La dentition de la patiente avant le placement de la couronne.



**Figure IV.74:** La dentition de la patiente après le placement de la couronne.

### IV.7 Résultats et discussion

Dans cette section, nous proposerons un récapitulatif des résultats obtenus à travers la fabrication de deux types de prothèses dentaires, un bridge réalisé par impression 3D et une couronne réalisée par usinage, en mettant en évidence les apports spécifiques de chaque procédé.

**L'impression 3D** a permis de réaliser un bridge dentaire en 40 minutes, pour un coût de 80 000 DA. Ce procédé a montré une grande efficacité pour concevoir une prothèse multi-éléments parfaitement adaptée à la morphologie du patient. Grâce à la modélisation numérique, le bridge a été conçu avec une précision remarquable, assurant une bonne adaptation et un résultat fonctionnel satisfaisant. Ce type de technologie offre une solution moderne, rapide et capable de répondre à des besoins complexes, notamment pour remplacer plusieurs dents.

**L'usinage** a été utilisé pour la fabrication d'une couronne sur une dent fragilisée, réalisée en 3 heures pour un coût de 30 000 DA. Dès la première pose, la couronne en zircone s'est parfaitement intégrée, tant sur le plan fonctionnel qu'esthétique. Elle a permis de restaurer la dent sans qu'aucune différence visuelle ne soit perceptible entre l'avant et l'après, donnant l'illusion d'une dent naturelle. Ce résultat souligne la précision de l'usinage et la qualité du

rendu final. La méthode est particulièrement adaptée aux restaurations unitaires qui exigent stabilité, résistance et fidélité aux formes anatomiques.

### **IV.8 Conclusion**

Les deux procédés numériques étudiés, l'impression 3D et l'usinage, ont permis d'obtenir des résultats cliniques convaincants, chacun répondant à des indications spécifiques : un bridge pour traiter une édentation partielle et une couronne unitaire pour restaurer une dent fragilisée. L'impression 3D se distingue par sa rapidité de fabrication, particulièrement utile pour la production simultanée de plusieurs éléments, tandis que l'usinage se caractérise par une précision élevée et une excellente qualité de finition, idéale pour les restaurations unitaires. L'intégration de ces technologies dans le flux de travail prothétique a considérablement fait évoluer les pratiques en dentisterie. D'un côté, l'impression 3D permet de concevoir rapidement des restaurations personnalisées avec une bonne adaptation fonctionnelle ; de l'autre, l'usinage offre un rendu très fidèle à la morphologie dentaire naturelle, notamment lorsqu'il s'agit de matériaux comme la zircone. Ces deux procédés numériques, que nous avons appliqués au cours de notre travail pratique, se sont révélés performants, en contribuant à améliorer la qualité des soins, à réduire les délais de traitement, et à garantir des résultats durables. Leur usage croissant en clinique et en laboratoire représente aujourd'hui une avancée significative vers une dentisterie plus précise, plus efficace, et mieux centrée sur les besoins du patient.



## **Conclusion Générale**

## Conclusion générale

---

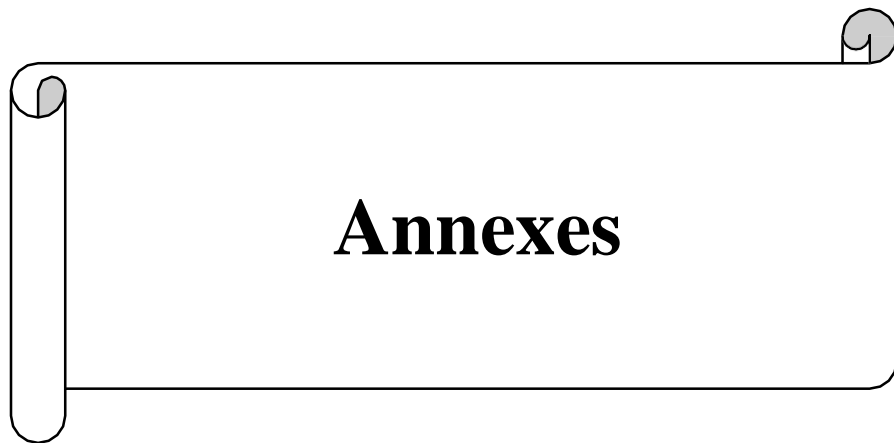
Ce mémoire nous a permis d'explorer une transformation majeure au sein de l'odontologie contemporaine : l'intégration des procédés numériques, et plus particulièrement de l'usinage et de l'impression **3D**, dans la fabrication des prothèses dentaires. Ces technologies, autrefois réservées au monde industriel, trouvent aujourd'hui une application concrète et pertinente dans le domaine médical, offrant des solutions à la fois plus précises, plus rapides, et mieux adaptées aux spécificités de chaque patient.

Pour bâtir cette réflexion, nous avons posé les bases théoriques indispensables en étudiant les biomatériaux, l'anatomie dentaire, et les types de prothèses existants. Nous avons ensuite analysé en détail les procédés numériques, en examinant leur fonctionnement, leurs avantages cliniques, ainsi que les changements qu'ils induisent dans le processus prothétique. Cette partie centrale a constitué le cœur de notre problématique, centrée sur leur impact en termes de précision, de qualité et d'efficacité clinique.

Ces connaissances ont été directement appliquées lors de notre stage à la clinique dentaire Moudjahid Meridji Bahloul sis a Tizi Ouzou, où nous avons pu suivre chaque étape du flux numérique, de la numérisation à la réalisation d'un bridge imprimé en 3D et d'une couronne usinée. Cette immersion nous a permis de confronter la théorie à la réalité du terrain, et de développer des compétences pratiques solides, en lien direct avec les évolutions du métier.

Ainsi, nous pouvons affirmer que les procédés numériques représentent aujourd'hui une réponse efficace et concrète à notre problématique : ils permettent d'améliorer la qualité des prothèses, d'optimiser leur ajustement, de réduire les délais de fabrication, et de renforcer la personnalisation des soins.

Ce mémoire marque pour nous une étape déterminante, non seulement dans notre formation, mais aussi dans notre engagement envers une dentisterie moderne, technologique et centrée sur le patient. En explorant ces techniques et en les appliquant en contexte réel, nous espérons avoir ouvert la voie à de futures recherches, à une adoption plus large de ces outils numériques, et à une amélioration continue des pratiques prothétiques de demain.



# **Annexes**

**Annexe 1:** La carte de visite de la clinique Moujahid Meriji Bahloul.



## Annexe 2: Guide de l'utilisation de l'imprimante 3D.

### 3D Printer Checklist

#### ⚠ Check list before printing

##### Automatic Warm-up



Warm-up is automatically performed when room temperature is low.

##### Please check the vat & build plate



Please make sure the build plate is free of the leftovers from previous prints or any other debris. And pull the lever forward to fix the build plate's position.

##### Please check the direction of the vat

Front



Please mount the vat's 'Front' side to face the door.

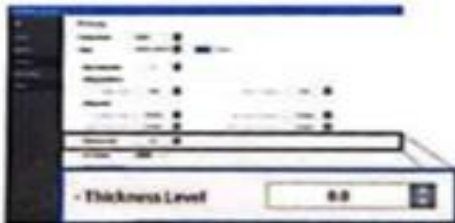
##### Please check the resin



Make sure you have selected the correct resin to be printed.

#### ⚠ Troubleshooting for inappropriate fitting of the printout

##### Please check the thickness level



1. If the fit is loose, increase the thickness level.
  2. If the fit is tight, decrease the thickness level.
- ⚠ If the wash-fluid isn't completely removed from inside of the printout after the wash, the printout fit will be tight.

##### Please check the washing condition



If the wash-fluid isn't completely removed from inside of the print after the wash, the printout fit will be tight.

⚠ Use an air gun or cotton swab to completely remove the wash-fluid inside and outside.



For more information or inquiries about the RAPID00-PL, please visit [3d.raymedical.com](http://3d.raymedical.com) or contact your local representative.

The contents of this guide are subject to change without notice.

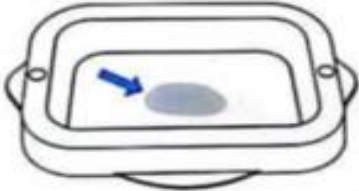
RG-0011-0K\_Rev 2.0

### Annexe 3: Guide de l'utilisation de l'imprimante 3D.

## Checklist for successful printing

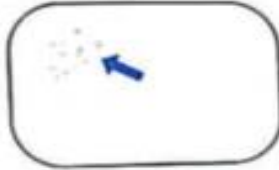
**Checklist for successful printing**

#### Please check the vat




Please make sure the vat is free of any leftover prints or any debris.

#### Please make sure the LCD-protective sheet is clean




Please make sure there is no harden resin residue on the LCD-protective sheet.  
**▲** If the resin is hardened on the sheet, please remove the resin or replace the sheet.

#### Please check the support structure




Removing any of the blue supports will cause island and print job will be failed.

#### Please check the number of supports



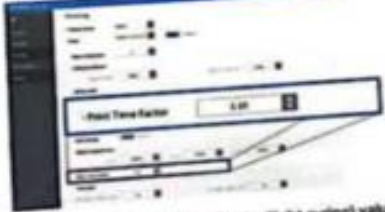
The supports may be cut off due to insufficient supports by removal of the gray supports or low support density. (below 1.0)

#### Please check the STL file




Please make sure that the stl file is not defective. If a blue or red line appears on the object, print job will not be done properly. (It can happen if you export your design file for milling unit from CAD S/W.)

#### Please adjust the Print Time Factor




Please adjust the Print Time Factor(light curing) value up to 1.1-1.2, then see if the print job is successful.



For more information or inquiries about the RAPID00-M, please visit [3dprintmedical.com](http://3dprintmedical.com) or contact your local representative.  
The contents of this guide are subject to change without notice.  
40C-9011-EN\_Rev.2.0

Annexe 4: L'ordonnance de la patiente 01 de la clinique Moujahid Meriji Bahloul.

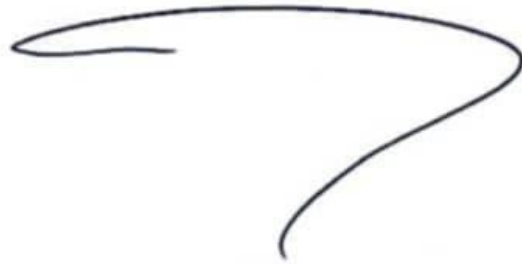
  
**CLINIQUE DENTAIRE**  
MOUDJAHID MERIDJI BAHLOUL  
**Dr. Abderrazak MERIDJI**  
*Spécialiste en Implantologie Dentaire*  
Soins conservateurs adultes & enfants - Pose d'implants  
Prothèse dentaire - Chirurgie de la bouche - Parodontologie  
ODF - Blanchiment - Esthétique dentaire

Dr OUGUENDUB  
Date : \_\_\_\_\_  
Nom :   
Prénom :   
Age : \_\_\_\_\_


## ORDONNANCE

Pridge 4ellents  
avec un ailette sur  
le cône.

lent A2



Annexe 5: L'ordonnance de la patiente 02 de la clinique Moujahid Meridji Bahloul.

 **Dr. MERIDJI**

**CLINIQUE DENTAIRE**  
MOUDJAHID MERIDJI BAHLOUL  
**Dr. Abderrazak MERIDJI**  
*Spécialiste en Implantologie Dentaire*  
Soins conservateurs adultes & enfants - Pose d'implants  
Prothèse dentaire - Chirurgie de la bouche - Parodontologie  
ODF - Blanchiment - Esthétique dentaire

Date : 29/04/21

Nom :

Prénom :

Age : .....

**ORDONNANCE**

P D E 1 couronne Zircon  
Su la 44

T: A 3

---

+213 (0) 26 18 22 64 / +213 (0) 559 94 69 03 Cité Med.Boudiaf Coop.Etoile 2000 Nouvelle-ville

## Résumé

Ce mémoire traite de l'apport des technologies numériques, en particulier l'usinage et l'impression 3D, dans la fabrication des prothèses dentaires. Ces procédés innovants ont profondément transformé la dentisterie, en permettant la création de dispositifs plus précis, plus rapides à produire, et mieux adaptés aux spécificités de chaque patient. Pour poser les fondements de cette réflexion, nous avons étudié les biomatériaux essentiels à la conception prothétique, ainsi que l'anatomie dentaire et les différents types de restaurations. Une attention particulière a ensuite été portée aux techniques numériques, en analysant leur fonctionnement, leurs avantages et leur impact clinique. Cette étude a été enrichie par une application pratique réalisée au sein de la clinique dentaire Moudjahid Meridji Bahloul, à travers la fabrication d'un bridge en impression 3D et d'une couronne usinée. Ce travail met en évidence que la convergence entre la science des matériaux, la connaissance anatomique et les outils numériques constitue une avancée majeure pour une dentisterie moderne, personnalisée et centrée sur la qualité des soins.

## Abstract

This thesis focuses on the contribution of digital technologies, particularly milling and 3D printing, in the fabrication of dental prostheses. These innovative processes have profoundly transformed dentistry by enabling the creation of devices that are more precise, faster to produce, and better adapted to the specific needs of each patient. To lay the foundation for this analysis, we studied the essential biomaterials used in prosthetic design, as well as dental anatomy and the various types of restorations. Special attention was then given to digital techniques, analyzing their operation, advantages, and clinical impact. This study was further enriched by a practical application carried out at the Moudjahid Meridji Bahloul dental clinic, through the fabrication of a 3D-printed bridge and a milled crown. This work highlights that the convergence of material science, anatomical knowledge, and digital tools represents a major advancement toward modern, personalized dentistry focused on quality care.

## المخلص

يتناول هذا البحث مساهمة التقنيات الرقمية، ولا سيما تقنية الطحن والطباعة ثلاثية الأبعاد، في تصنيع الأطقم السنية. فقد أحدثت هذه الأساليب المبتكرة تحولاً عميقاً في مجال طب الأسنان، من خلال إتاحة إمكانية تصميم أجهزة تعويضية أكثر دقة، وأسرع في الإنتاج، وأكثر توافقاً مع الخصائص الفردية لكل مريض. ومن أجل تأطير هذا التحليل، قمنا بدراسة المواد الحيوية الأساسية في تصميم الأطقم، بالإضافة إلى تشريح الأسنان وأنواع الترميمات المختلفة. كما أولي اهتمام خاص للتقنيات الرقمية، من خلال تحليل آليات عملها، وفوائدها، وتأثيرها السريري. وقد تعززت هذه الدراسة بتطبيق عملي تم إنجازه داخل عيادة الشهيد مجاهد مريجي بهلول لطب الأسنان، من خلال تصنيع جسر باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد، وتاج باستخدام تقنية الطحن. ويبرز هذا العمل أن التقاء علم المواد والمعرفة التشريحية والأدوات الرقمية يشكل تقدماً كبيراً نحو ممارسة طب أسنان حديثة، مخصصة، ومرتكزة على جودة الرعاية