

**UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE DE LILLE 2**

**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

[Année de soutenance : 2019]

N°:

THESE POUR LE  
**DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement le 06 Juin 2019

Par Camille DUCHATEAU

Née le 05 09 1994 à Lille – France

Les prothèses amovibles partielles en PEEK en 2019.

**JURY**

Président : Monsieur le Professeur Pascal BEHIN  
Assesseurs : Monsieur le Docteur Thierry DELCAMBRE  
Monsieur le Docteur Claude LEFEVRE  
Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directeur Général des Services de l'Université	:	P-M. ROBERT
Doyen	:	Pr. E. DEVEAUX
Vice-Doyens	:	Dr. E. BOCQUET, Dr. L. NAWROCKI et Pr. G. PENEL
Responsable des Services	:	S. NEDELEC
Responsable de la Scolarité	:	M. DROPSIT

## **PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.**

### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES :**

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
E. DELCOURT-DEBRUYNE	Professeur Emérite Parodontologie
E. DEVEAUX	Dentisterie Restauratrice Endodontie <b>Doyen de la Faculté</b>
<b>G. PENEL</b>	Responsable du Département de <b>Biologie Orale</b>

**MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES**

K. AGOSSA	Parodontologie
T. BECAVIN	Dentisterie Restauratrice Endodontie
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
P. BOITELLE	Prothèses
<b>F. BOSCHIN</b>	Responsable du Département de <b>Parodontologie</b>
<b>E. BOCQUET</b>	Responsable du Département d' <b>Orthopédie Dento-Faciale</b>
<b>C. CATTEAU</b>	Responsable du Département de <b>Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.</b>
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
<b>C. DELFOSSE</b>	Responsable du Département d' <b>Odontologie Pédiatrique</b>
F. DESCAMP	Prothèses
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
<b>P. HILDELBERT</b>	Responsable du Département de <b>Dentisterie Restauratrice Endodontie</b>
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
G. MAYER	Prothèses
<b>L. NAWROCKI</b>	Responsable du Département de <b>Chirurgie Orale</b> Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
<b>M. SAVIGNAT</b>	Responsable du Département des <b>Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux</b>
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
<b>J. VANDOMME</b>	Responsable du Département de <b>Prothèses</b>

### ***Réglementation de présentation du mémoire de Thèse***

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille 2 a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

*Aux membres du Jury,*

## **Monsieur le Professeur Pascal BEHIN**

**Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD**

*Sous-Section Prothèses*

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Paris DESCARTES (Paris V – mention Odontologie)

C.E.S de Parodontologie

C.E.S de Prothèse Fixée

C.E.S de Biomatériaux

Habilitation à Diriger des Recherches

*Vous me faites l'honneur de présider ce jury et je vous en remercie. J'ai pu apprécier tout au long de mes études la qualité de vos enseignements. Veuillez trouver en ces mots l'expression de ma gratitude, ma reconnaissance et de mon profond respect.*

**Monsieur le Docteur Thierry DELCAMBRE**

**Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD**

*Sous-Section Prothèses*

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Diplôme d'Université d'Implantologie  
Doctorat de l'Université de Lille 2 (mention Odontologie)

Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales  
C.E.S de Prothèse Adjointe Complète  
C.E.S de Prothèse Adjointe Partielle

*Je vous remercie d'avoir accepté de siéger au sein de ce jury.  
Permettez-moi de vous adresser toute ma gratitude et mes sincères  
remerciements.*

**Monsieur le Docteur Claude LEFEVRE**

**Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD**

*Sous-Section Prothèses*

Docteur en Chirurgie Dentaire

Doctorat de l'Université de Lille 2 (mention Odontologie)

Responsable des Relations avec l'Ordre et avec les Partenaires Industriels

*Je vous remercie d'avoir accepté de diriger ce travail, de votre disponibilité et de votre bienveillance. J'ai pu apprécier tout au long de ce travail vos qualités humaines et professionnelles. Soyez assuré de ma sincère reconnaissance et de toute ma gratitude.*



**Monsieur le Docteur Corentin DENIS**

**Chargé d'Enseignement**

*Sous-Section Prothèses*

Docteur en Chirurgie Dentaire

*Je te remercie d'avoir accepté de siéger au sein de ce jury. Je suis heureuse que tu sois présent ce jour comme tout au long de mes études en tant que moniteur ou enseignant en clinique. En souvenir de ces bons moments ensemble, je t'exprime toute ma reconnaissance et ma gratitude.*



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Présentation des matériaux.....</b>	<b>14</b>
2.1	Le polyétheréthercétone : le PEEK.....	14
2.2	Le polyéthercétonecétone : le PEKK .....	15
2.3	Les polymères thermoplastiques hautes performances.....	16
2.4	Les polyaryléthercétone : Les PAEKs .....	19
<b>3</b>	<b>Les propriétés du PEEK.....</b>	<b>22</b>
3.1	Biocompatibilité du PEEK .....	22
3.1.1	Définition de la biocompatibilité .....	22
3.1.2	Les études In Vivo .....	22
3.1.3	Les études In Vitro.....	23
3.1.4	Le PEEK modifié bioactif .....	24
3.2	Propriétés mécaniques .....	25
3.2.1	Des propriétés mécaniques proches de l'os cortical.....	26
3.2.2	Le PEEK et le PEKK renforcés : en fibres de carbone ou fibres de verre .....	27
3.3	Propriétés thermiques.....	28
3.4	Propriétés électriques et inflammabilité .....	28
3.5	Propriétés chimiques .....	28
3.6	Résistance aux rayonnements et radio transparence.....	29
3.6.1	Radio transparence du PEEK.....	29
3.6.2	Résistance aux rayonnements.....	29
<b>4</b>	<b>Domaines d'utilisation du PEEK .....</b>	<b>30</b>
4.1	Les domaines non médicaux .....	30
4.2	Le domaine médical.....	30
4.3	Le domaine dentaire .....	31
4.3.1	La prothèse amovible .....	31
4.3.2	La prothèse fixée .....	31
4.3.3	L'implantologie.....	31
4.3.4	La prothèse maxillo-faciale .....	31
4.3.5	L'orthodontie .....	32
<b>5</b>	<b>Indications d'un châssis de prothèse amovible partielle en PEEK .....</b>	<b>33</b>
5.1	Les allergies aux châssis métalliques.....	33
5.1.1	Les alliages à base nickel.....	33
5.1.2	Les alliages à base chrome cobalt.....	34
5.1.2.1	Le cobalt.....	34
5.1.2.2	Le chrome .....	34
5.1.3	Le titane.....	34
5.1.4	Manifestations des allergies aux châssis métalliques prothétiques .....	35
5.1.4.1	Les signes cliniques locaux.....	35
5.1.5	Diagnostic positif de l'allergie .....	36
5.1.6	Les patients à risque allergique .....	38
5.1.6.1	Les patients présentant un lichen plan ou des lésions lichénoïdes .....	38
5.1.6.2	Les patients présentant des dermatites.....	38

5.1.7	L'alternative du PEEK.....	39
5.2	L'électro galvanisme .....	40
5.2.1	Définition de l'électro galvanisme .....	40
5.2.2	Définition de la corrosion .....	41
5.2.3	Classification des matériaux selon leur potentiel de résistance à la corrosion .....	41
5.2.4	Effets de la corrosion .....	42
5.2.5	L'alternative du PEEK.....	42
5.3	Les patients à risque parodontal.....	43
5.3.1	L'alternative du PEEK.....	43
5.4	Les malpositions / versions dentaires .....	45
5.4.1	L'alternative du PEEK.....	45
5.5	Les critères idéaux de satisfaction des prothèses amovibles partielles selon les patients.....	46
5.5.1	La satisfaction des patients .....	46
5.5.2	L'absence de « goût métallique » des prothèses amovibles partielles.....	47
5.5.3	Le poids léger des prothèses amovibles partielles .....	47
5.5.4	L'esthétique .....	48
5.5.5	La rétention.....	49
5.5.5.1	La forces de rétention des crochets .....	49
5.5.5.2	La fatigue des crochets .....	50
<b>6</b>	<b>Inconvénients d'un châssis en PEEK.....</b>	<b>52</b>
6.1	Facteur économique .....	52
6.2	L'esthétique.....	52
6.3	Activation des crochets.....	52
6.4	Pérennité du châssis en PEEK.....	52
<b>7</b>	<b>Conception d'un châssis en PEEK.....</b>	<b>53</b>
7.1	Rappels sur le tracé de plaque .....	53
7.1.1	La triade de Housset.....	53
7.1.2	Les types d'armatures .....	53
7.1.3	Les crochets .....	56
7.1.4	Chronologie du tracé de plaque.....	57
7.2	Les spécificités du châssis en PEEK.....	60
7.3	La fabrication d'un châssis en PEEK.....	64
7.3.1	La Conception et Fabrication par Ordinateur : CFAO .....	64
7.3.2	Les étapes de réalisation.....	66
7.3.2.1	Les empreintes.....	66
7.3.2.2	Enregistrement de la relation intermaxillaire .....	67
7.3.2.3	La numérisation.....	67
7.3.2.4	La Conception Assistée par Ordinateur du châssis.....	68
7.3.2.5	La Fabrication Assistée par Ordinateur .....	69
7.3.2.6	Montage des dents de la prothèse amovible partielle .....	71
7.3.2.7	Livraison de la prothèse amovible partielle .....	71
7.3.2.8	Coloration superficielle du PEEK .....	71
7.3.2.9	Conseils d'entretien et d'utilisation .....	72
<b>8</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>74</b>
	<b>Table des illustrations .....</b>	<b>76</b>
	<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>79</b>

# 1 Introduction

La prothèse amovible partielle est une option de traitement encore très largement proposée et utilisée malgré l'essor de la discipline implantaire et des diversifications des techniques implantaires.

La prothèse amovible partielle à châssis métallique en chrome cobalt appelée stellite en est actuellement la prothèse de référence.

Le caractère allergisant, l'esthétique, le poids ou le goût du métal amène à la recherche de matériaux innovants biocompatibles. Le polyétheréthercétone, appelé PEEK, est synthétisé en 1978 pour des utilisations industrielles très spécifiques telles que l'aéronautique ou l'aérospatiale. Il présente des propriétés exceptionnelles.

La biocompatibilité du PEEK et ses caractéristiques mécaniques permettent son utilisation dans le domaine médical et en font un matériau alternatif aux métaux notamment en odontologie.

Il est alors utilisé pour la réalisation de châssis de prothèse amovible partielle à la place du chrome cobalt.

Les propriétés du matériau, notamment sa flexibilité, nécessitent une adaptation du chirurgien-dentiste et du prothésiste dentaire lors de la conception et de la fabrication de la prothèse amovible. Le châssis en PEEK est réalisé grâce à la CFAO (conception et fabrication assistées par ordinateur).

Les objectifs de ce travail sont :

- la présentation du matériau et de ses propriétés,
- ses indications pour la réalisation d'un châssis de prothèse amovible partielle,
- et les adaptations nécessaires à la conception et à la réalisation de ce type de châssis.

## 2 Présentation des matériaux

Le PEEK (polyétheréthercétone) et le PEKK (polyéthercétonecétone) sont des matériaux utilisés dans le domaine de l'art dentaire depuis une dizaine d'années. Ils font partis de la famille des PAEKs (polyétherarylcétones) qui elle-même fait partie de la famille des polymères thermoplastiques à hautes performances.

### 2.1 Le polyétheréthercétone : le PEEK

Le PEEK est l'acronyme de polyétheréthercétone (*polyetheretherketone en anglais*). Il s'agit d'un polymère thermoplastique à hautes performances. Ces polymères ont été découverts et mis au point par les industriels de l'aérospatiale et du nucléaire recherchant des propriétés mécaniques élevées, une légèreté intrinsèque et une grande stabilité thermique et chimique des matériaux afin de répondre à des exigences très particulières d'utilisation. Il est par exemple utilisé pour des pièces soumises à des contraintes importantes dans le domaine de l'aérospatiale ou le domaine automobile (1).

La société Union Carbide a déposé les premiers brevets concernant le PEEK en 1963, mais le procédé actuel de préparation du matériau est fondé sur les travaux de Imperial Chemical Industries Limited en 1978 (2).

La commercialisation du PEEK débute en 1978 sous la dénomination de Victrex® PEEK pour les domaines industriels non médicaux. La première application biomédicale du PEEK date d'avril 1998 au Royaume Uni avec la mise sur le marché du PEEK Optima® pour une utilisation orthopédique : des implants spinaux (3).

Ils existent plusieurs entreprises qui commercialisent le PEEK sous formes de granules, de tubes, de plaques, de filaments ou de disques usinables. La couleur de ces matériaux est blanche, naturelle ou grisée (2).



Figure 1 : Disques de PEEK usinables JUVORA® (couleur blanche et couleur naturelle) (4).

## **2.2 Le polyéthercétonecétone : le PEKK**

Le PEKK est synthétisé de façon plus récente. Le PEKK est l'acronyme de polyéthercétonecétone (*polyetherketoneketone en anglais*). Il s'agit également d'un polymère thermoplastique à hautes performances qui présentent des propriétés et des caractéristiques supérieures au PEEK.

Il est synthétisé pour la première fois par W.Bonner puis développé et mis sur le marché aux États-Unis en 1988 par l'entreprise Dupont pour une utilisation dans le domaine aérospatial. En 2015, il est utilisé à des fins médicales pour la réalisation d'implants crânio-faciaux (5).

De la même façon que le PEEK, le PEKK est actuellement commercialisé par plusieurs entreprises sous différentes formes : disques usinables, tubes, filaments ou granules.

## 2.3 Les polymères thermoplastiques hautes performances

Un polymère est une macromolécule constituée par un ensemble de monomères. Le nombre de monomères est désigné par  $n$ .

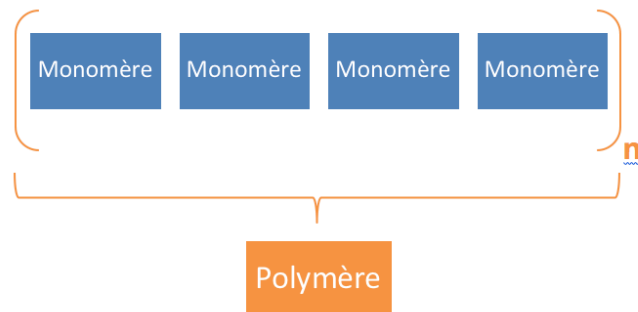


Figure 2 : Schéma d'un polymère.

Les polymères industriels thermoplastiques changent de forme après chauffage (solide à vitreux à environ  $170^\circ$  pour les PAEKs). Ils se caractérisent par leur température de transition vitreuse notée  $T_g$ . A cette température, le polymère passe d'un état solide à un état caoutchouteux puis vitreux et ses propriétés seront altérées. Il s'agit donc de la température maximale d'utilisation en continu du polymère.

Les macromolécules constituant les polymères thermoplastiques sont reliées par des liaisons faibles de types Van der Waals. L'apport d'énergie thermique, c'est-à-dire le chauffage du matériau permet de rompre ces liaisons. Ce processus est réversible et peut être répété ; un polymère peut être transformé à chaud puis refroidi et retrouver son état solide (6).

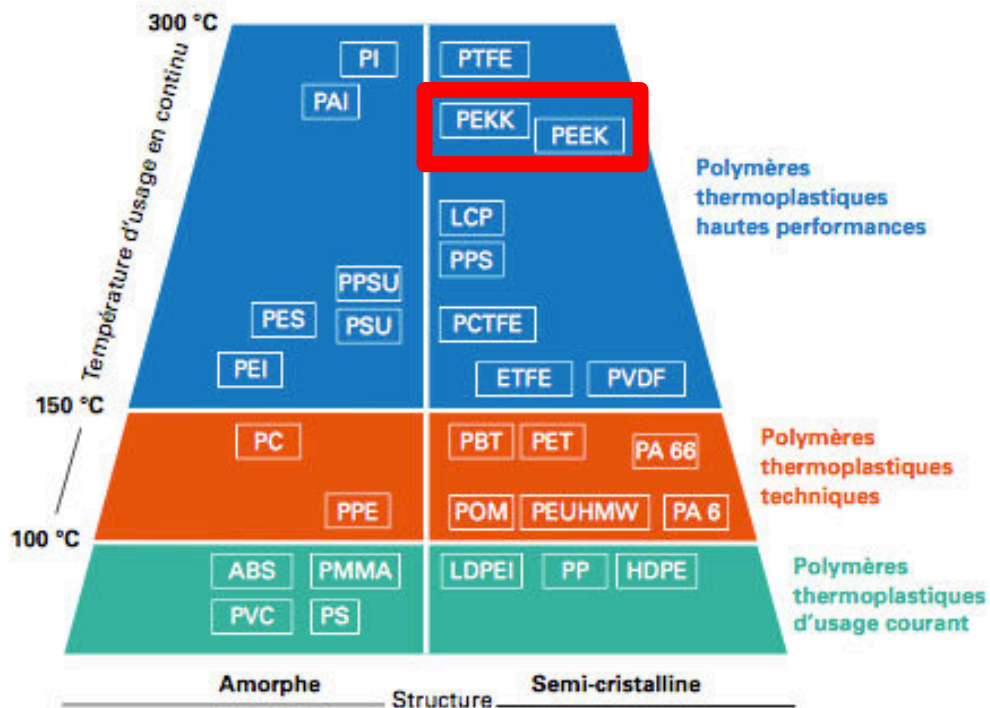
La majorité des polymères ont une température transition vitreuse comprise entre  $80^\circ\text{C}$  et  $150^\circ\text{C}$  satisfaisante pour des applications courantes.

Les industriels ont mis au point des polymères hautes performances qui résistent à des températures supérieures à  $150^\circ\text{C}$  pour des indications spécifiques extrêmes.

On dénombre trois types de polymères dans l'industrie :

- Les polymères thermoplastiques classiques  $T_g < 100^\circ\text{C}$
- Les polymères thermoplastiques techniques  $T_g 100^\circ\text{C} < T_g < 150^\circ\text{C}$
- Les polymères thermoplastiques hautes performances  $T_g > 150^\circ$  (1).





1. Les différents polymères utilisés en industrie.

**Polymères hautes performances :**

- **Polyimides** : (PI = Polyimide, PAI = Polyamide-imide, PEI = Polyétherimide)
- **Fluoropolymères** : (PTFE = Polytétrafluorocéthylène, PCTFE = Polychlorotrifluorocéthène, ETFE = Ethylène-tétrafluorocéthylène, PVDF = Polyfluorure de vinylidène)
- **Polyaryléthercétone** : (PEEK : Polyétheréthercétone, PEKK Polyéthercétonecétone)
- **Polymères à cristaux liquides** = LCP
- **Polysulfones** : (PPSU : Polyphénolsulfone, PSU = Polysulfone, PES = Polyéthersulfone, PPS = Polysulfure de phénylène)

**Polymères techniques :**

- PBT = Polytéraphtalate de butylène, PET = Polytéraphtalate d'éthyle, PA66 = Polyamide 66, PPE = Polyphényléther, POM = Poxyméthylène, PEUHMW = Polyéthylène de masse molaire très élevée, PA6 = Polyamide 6.

**Polymères d'usage courant :**

- ABS = Acrylonitrile butadiène styrène, PMMA = Polymétacrylate de méthyle, LDPE = polyéthylène basse densité, PP = Polypropylène, HDPE = Polyéthylène haute densité, PVC = Polychlorure de vinyle, PS = polystyrène)

Figure 3 : Les différents types de polymères utilisés en industrie, d'après B Jacquot (1).

Lors de la transition thermodynamique de l'état vitreux à solide, deux structures de polymères se distinguent :

- La structure amorphe schématisée par un amas de macromolécules appelée pelote statique. Les polymères amorphes sont très sensibles aux solvants et peu résistants mécaniquement.
- La structure semi-cristalline caractérisée par des phases cristallines au sein d'une phase amorphe. Les macromolécules s'organisent en structure lamellaire. Les polymères semi-cristallins présentent une meilleure résistance aux solvants et aux forces mécaniques (6).

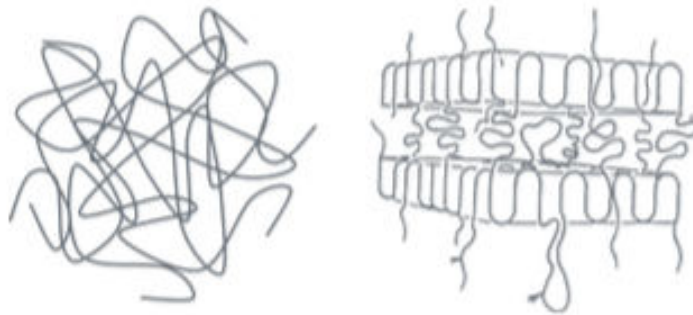
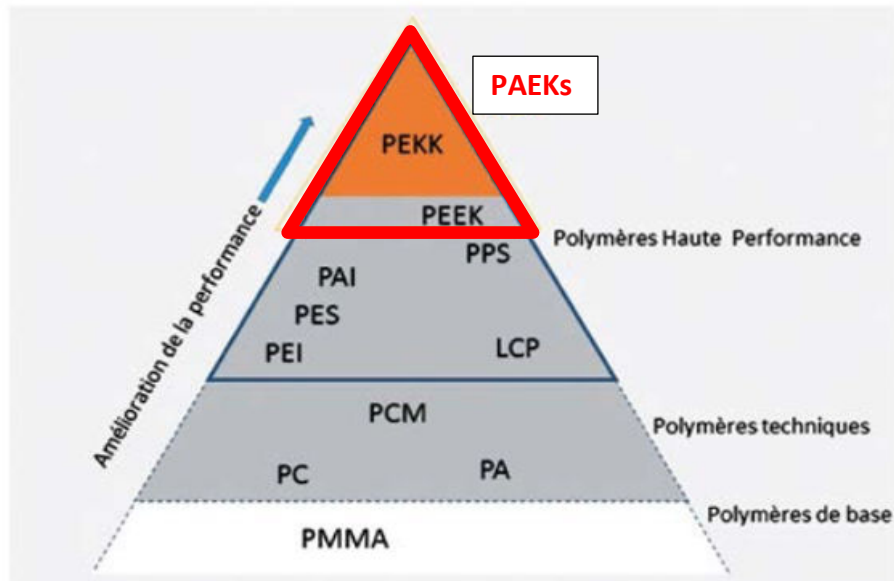


Figure 4 : Structure amorphe d'un polymère à gauche appelée pelote statique et structure semi-cristalline lamellaire d'un polymère à droite, T Borgia (6).

Le PEEK et le PEKK sont des polymères thermoplastiques semi-cristallins à hautes performances qui ont une température de transition vitreuse supérieure à 150°C. Ils présentent de bonnes propriétés mécaniques et une bonne résistance aux solvants grâce à leur structure semi-cristalline lamellaire (1)(6).

## 2.4 Les polyaryléthercétones : Les PAEKs

Les polymères à hautes performances se différencient entre eux par leur composition chimique. Le PEEK et le PEKK sont des polyaryléthercétones désignés par l'acronyme PAEKs. Des propriétés exceptionnelles leurs sont attribuées notamment une grande résistance à l'hydrolyse, aux températures élevées et à des contraintes extrêmes. Ils sont synthétisés par substitution électrophile ou nucléophile. De nouveaux processus de fabrication sont étudiés afin de faire baisser le coût très élevé actuel de ces matériaux (2).



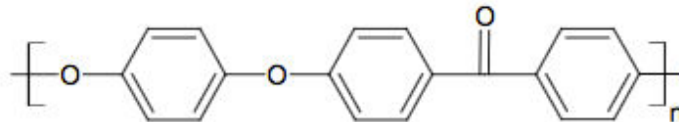
Acronyme	Signification
PEKK	Polyéthercétonecétone
PEEK	Polyéthercétonecétone
PAEK	Polyaryléthercétone
PPS	Polysulfure de phénylène
LCP	Polymère à cristaux liquides
PAI	Polyamide imide
PES	Polyétherimide
PCM	Polymère et matériau composite
PMMA	Polymétacrylate de méthyle
PC	Polycarbonate
PA	Polyamide

Figure 5 : La pyramide des matériaux thermoplastiques actuels et la place des PAEKs d'après B Gobert (7) et B Picart (8).

LE PEEK et le PEKK comportent un enchaînement de cycles aromatiques stables constitués de noyaux phénylène réunis :

- par un atome d'oxygène : fonction éther (Ar – O – Ar)
- ou un groupe carbonyle : fonction cétone (Ar – CO – Ar)

### PEEK – Poly(EtherEtherKetone)



### PEKK – Poly(EtherKetoneKetone)

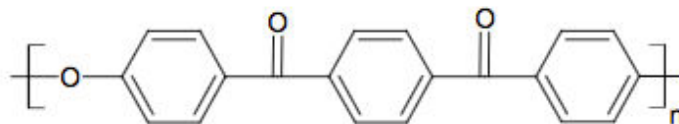


Figure 6 : Molécules chimiques du PEEK et du PEKK, Nicolas Longiéras (9).

Le PEEK présente une majorité de fonctions éthers (O) et le PEKK une majorité de fonctions cétones (CO).

Les fonctions cétones (CO) sont moins flexibles que les liaisons éthers (O).

L'augmentation du nombre de fonctions cétones par rapport aux liaisons éthers accroît alors la rigidité et la stabilité de la chaîne du polymère. La température de la transition vitreuse du PEKK sera donc augmentée, ainsi que ses propriétés mécaniques par rapport au PEEK.

Les chaînes moléculaires se replient sur elles même afin de former une maille du polymère. L'ensemble des mailles s'organisent en lamelles cristallines. Les lamelles cristallines se regroupent sous forme d'amas appelés sphérolites. Les sphérolites sont la phase cristalline de ces polymères, ils se trouvent au sein d'une phase amorphe désorganisée. Le PEEK et le PEKK sont donc de types semi-cristallins (10).

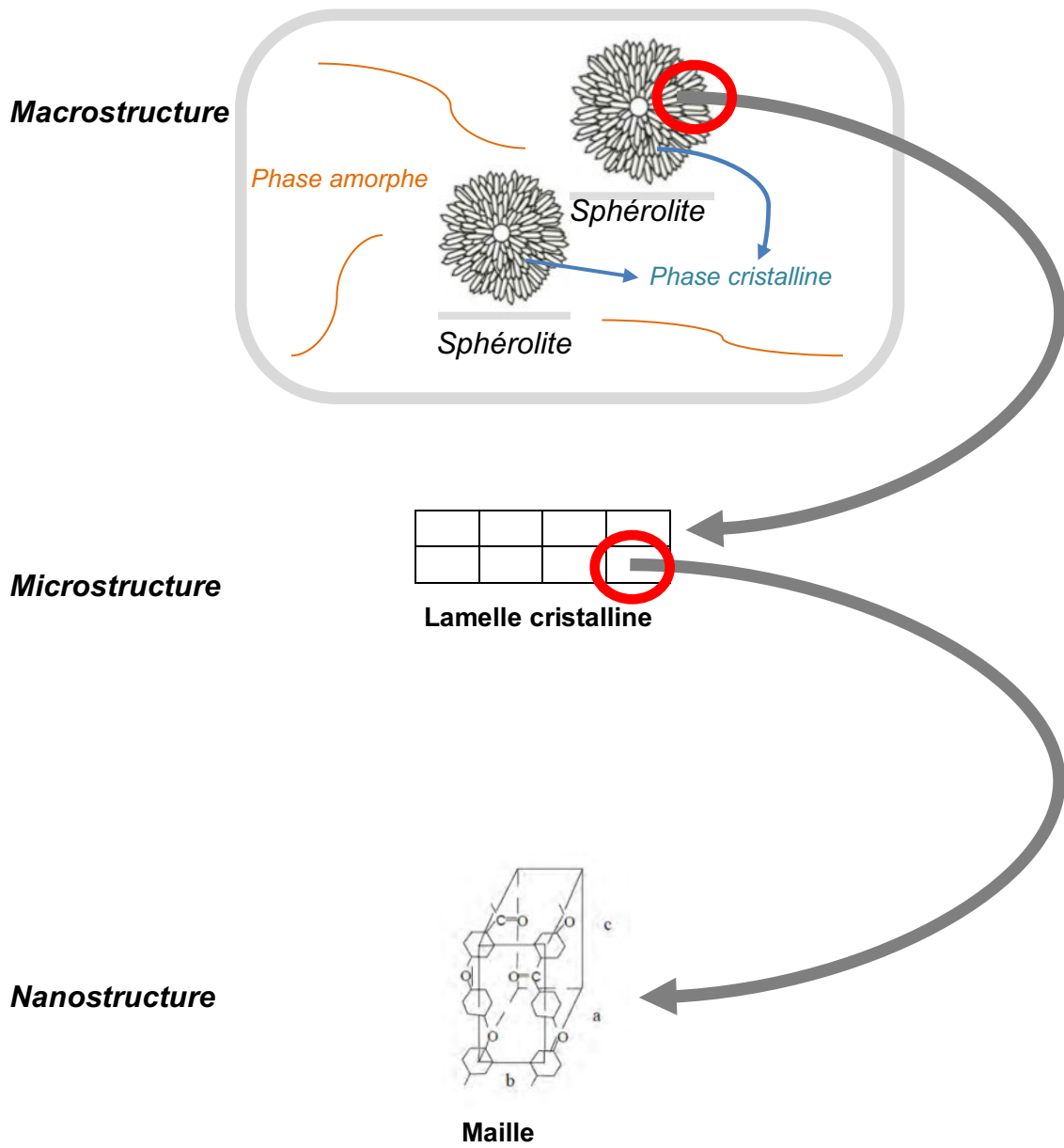


Figure 7 : Structure du PEEK et du PEKK à différentes échelles d'après F.Boyer (10).

## 3 Les propriétés du PEEK

### 3.1 Biocompatibilité du PEEK

#### 3.1.1 Définition de la biocompatibilité

Selon le Pr Jonathon Black de l'Université de Clemson : « *La biocompatibilité est la performance biologique dans une application spécifique jugée appropriée pour ce site ou cette situation.*

*La performance biologique est l'interaction entre le matériau et le système vivant, qui prend en compte :*

- *La réponse de l'hôte (locale et systémique)*
- *La réponse du matériau » (11).*

Afin qu'il soit biocompatible, le matériau doit être non cytotoxique, non mutagène, non cancérigène et non immunogène (12).

#### 3.1.2 Les études In Vivo

En, 1987, Williams et coll. mènent les premières expériences scientifiques in vivo sur la biocompatibilité du PEEK. Ils positionnent des implants en PEEK renforcé en fibres de carbone :

- en sous cutanés sur des lapins
- et intra musculaires sur des rats.

Ils observent la réaction des tissus mous des sites implantés à 4, 9 et 30 semaines. Une légère réaction inflammatoire est retrouvée ils concluent à une « une réponse minimale » des tissus mous (13).

Dans les années 90, la recherche de matériaux alternatifs aux métaux pour la traumatologie humaine est en cours. En effet, les métaux utilisés et notamment le titane pour les fixations de fracture sont à l'origine d'une baisse de densité osseuse après leur mise en place. C'est le phénomène de « stress shielding » décrit par Wolff.

En 1992, Jockish et coll. mènent une étude en deux phases sur la biocompatibilité du PEEK renforcé en fibres de carbone :

- La mise en place d'un implant en PEEK en intra musculaire chez le lapin qui confirme une réaction aspécifique et donc une tolérance des tissus mous à 12 semaines.
- L'implantation d'une plaque de fixation de fracture sur les fémurs de quatre beagles montre également une réaction aspécifique des tissus osseux à la plaque en elle-même ainsi qu'aux particules qu'elle dégage à 16 semaines (14).

En 1995, AM Rust Dawicki et coll. mènent une étude chez des chiens afin de comparer la pose d'implant en PEEK enrobé de Titane et la pose d'implant en PEEK non enrobé. Le PEEK n'est pas ostéo conducteur contrairement au Titane. L'étude conclue à la fixation égale des deux implants, mais à une meilleure apposition osseuse sur l'implant enrobé de titane (15).

Enfin, en 2002, Charles H Rivard mène une étude sur la biocompatibilité du PEEK avec les tissus nerveux dans son étude sur les implants spinaux en PEEK sur des lapins. En effet le PEEK est alors utilisé pour des prothèses vertébrales et cervicales chez l'Homme. Son étude conclue à une excellente biocompatibilité de l'implant en PEEK et de ses débris avec le tissu nerveux (16).

### **3.1.3 Les études In Vitro**

En 1992, Wenz et coll. mènent une étude de contact direct entre le PEEK et des fibroblastes de souris et concluent à une « *excellente biocompatibilité cellulaire in vitro* » (17).

En 1995, Morrison et coll. mènent une étude comparative entre le PEEK et les résines époxy en contact avec des fibroblastes et des ostéoblastes. Ils concluent à une meilleure biocompatibilité du PEEK et indiquent qu'il s'agit d'un matériau de choix pour l'implantation in vivo (18).

L'ensemble de ces études in vitro et vivo démontre une biocompatibilité exceptionnelle du PEEK et permet son utilisation dans le domaine biomédical.

### 3.1.4 Le PEEK modifié bioactif

Le PEEK est biocompatible mais il n'est pas bioactif. C'est un matériau inerte qui ne permet pas la prolifération cellulaire.

Des recherches ont été menées afin de rendre le PEEK bioactif et notamment ostéo conducteur. En effet, le PEEK est largement utilisé en tant qu'implant osseux en orthopédie / neurochirurgie ou chirurgie dentaire.

Ainsi plusieurs méthodes de potentialisation du PEEK ont émergé :

- L'adjonction de molécules ostéo conductrices telle que l'hydroxyapatite au PEEK (HA/PEEK) : technique du matériau composite,
- Le traitement de surface physique au Plasma du PEEK,
- Le traitement de surface chimique par sulfonation du PEEK (par acide sulfurique  $H_2SO_4$ ).

Le traitement de surface (physique ou chimique du PEEK) a démontré des résultats satisfaisants mais nécessite davantage d'études afin d'établir sa bio activité.

D'autre part la technique du matériau composite nécessite davantage de recherche afin de permettre au PEEK de garder ses excellentes propriétés tout en lui intégrant un matériau bioactif (19).



### 3.2 Propriétés mécaniques

Le PEEK a une très bonne rigidité, dureté et ténacité. On constate une excellente stabilité dimensionnelle, une faible tendance au fluage ainsi qu'une très bonne résistance à l'abrasion et à l'usure de ce matériau.

Propriétés	Conditions du Test	Résultats
<b>Traction / Allongement</b>	Limite du module d'élasticité du matériau à 5% d'allongement à température ambiante sous une contrainte	Force appliquée avant 5% d'allongement : 100 MPa
<b>Flexion</b>	Limite du matériau à ne pas se déformer sous une forte contrainte à température ambiante	Force maximale avant flexion : 160 MPa
<b>Fluage</b>	Limite du matériau à se déformer lorsqu'il est soumis 1000 h à une contrainte de 60 MPa à température ambiante	La déformation est environ de 2%.
<b>Fatigue</b>	Diminution des propriétés du matériau sous l'effet permanent d'une charge cyclique (contrainte de 10 à 100% à la fréquence de 5 Hz) à température ambiante	Très faible

Figure 8 : Tableau réalisé à partir des données techniques sur les plastiques techniques de Licharz (20).

### 3.2.1 Des propriétés mécaniques proches de l'os cortical

	Email	Dentine	PMMA	<u>PEEK</u>	PEEK GF30	PEEK CF30	PEKK	<u>Os</u> <u>Cortical</u>	Ti6Al4V	CoCr
<b>Résistance à la traction</b>	10,3 MPa	98,7 MPa	50 MPa	<b><u>100</u></b> <b><u>MPa</u></b>	175 MPa	265 MPa	110 MPa	<b><u>120</u></b> <b><u>MPa</u></b>	920 MPa	960 Mpa
<b>Module d'élasticité d'Young</b>	84 GPa	18 GPa	3 GPa	<b><u>3,8</u></b> <b><u>GPa</u></b>	11 GPa	24 GPa	4,4 GPa	<b><u>17 GPa</u></b>	110 Gpa	200 GPa

PEEK GF30 (PEEK Glass Filled 30%) = PEEK renforcé à 30% avec des fibres de verre.

PEEK CF30 (PEEK Carbon Fiber 30%) = PEEK renforcé à 30% avec des fibres de carbone.

PMMA = Polyméthacrylate de méthyle

CoCr = Chrome Cobalt

Ti6Al4V = Titane

MPa = MégaPascal

GPa = GigaPascal

Figure 9 : Tableau modifié des propriétés mécaniques du PEKK et du PEEK en comparaison avec les matériaux utilisés en prothèse et en implantologie dentaire d'après B Jacquot (1).

Le Titane (Ti6Al4V) est largement utilisé en traumatologie et en implantologie dentaire ; il est à l'origine du phénomène de « stress shielding ». Ce phénomène est décrit par Wolff.

Le différentiel de rigidité entre l'os et le titane est à l'origine d'une réduction de la densité osseuse autour des éléments implantés en Titane. En effet l'os humain ou animal est remodelé en fonction des charges auxquelles il est soumis. La réduction osseuse périphérique autour de l'implant traduit le stress que l'os subit dû à l'implant en Titane.

Les propriétés mécaniques de résistance, de traction et le module d'élasticité du PEEK et du PEKK sont très proches de celles de l'os cortical.

Ces propriétés ainsi que leur biocompatibilité font alors de ces matériaux des matériaux de choix pour l'implantation osseuse dans le milieu médical ou dans le milieu dentaire. Ils évitent ainsi le « stress shielding ». Ils sont moins ostéoconducteurs que le titane mais des recherches et des études sont en cours afin d'obtenir la fonctionnalisation de la surface du PEEK (1).

Dans le cadre de la prothèse amovible partielle, le principal matériau utilisé actuellement est le chrome cobalt (CoCr). Il permet la réalisation de châssis métalliques appelés « stellites ».

Le différentiel de rigidité entre l'os cortical et le chrome cobalt est très important. Il est intéressant de noter que le PEEK a des propriétés mécaniques plus proches de l'os cortical que le chrome cobalt. La réalisation d'une prothèse amovible partielle en PEEK permet alors de réduire les contraintes sur l'os cortical.

### **3.2.2 Le PEEK et le PEKK renforcés : en fibres de carbone ou fibres de verre**

L'incorporation de matériaux dérivés permet de modifier facilement les propriétés mécaniques du PEEK et du PEKK. Le PEEK peut être renforcé à l'aide de fibres de carbone ou en fibres de verre dans différentes proportions afin d'obtenir un module d'élasticité plus proche de l'os cortical que le PEEK non renforcé.

Par exemple le module d'élasticité du PEEK renforcé à 30% en fibres de carbone est 24 GPa (contre 4,4 GPa pour le PEEK non renforcé et 17 GPa pour l'os cortical) (1)(21).

### 3.3 Propriétés thermiques

Le PEEK a des propriétés thermiques très élevées ; il peut être utilisé sur une vaste plage de température sans être altéré.

Propriété thermique	Résultat
Température de fusion	343°C à 387°C
Température de dégradation	550°C
Température d'utilisation en continu	-55°C à 260°C
Coefficient de dilatation thermique linéaire (l'expansion à pression constante du volume d'un corps occasionné par son réchauffement)	45 ppm K <sup>-1</sup>

Figure 10 : Tableau réalisé à partir des données techniques sur les plastiques techniques de Licharz (20).

### 3.4 Propriétés électriques et inflammabilité

Le PEEK est utilisé comme isolant électrique sur une vaste plage de température. Sa constante diélectrique est 3,1. Elle décrit la réponse du matériau donné lorsqu'un champ électrique lui est appliqué.

De plus le PEEK est un matériau peu inflammable. Il est classé V0 selon la classification UL94, c'est-à-dire qu'il répond aux normes les plus exigeantes des tests d'inflammabilité des plastiques. Par ailleurs, lorsqu'il brûle il dégage très peu de gaz toxiques pour l'Homme.

Son utilisation dans les domaines électriques exigeants est alors intéressante (20).

### 3.5 Propriétés chimiques

Le PEEK, grâce à sa formule linéaire et ses cycles aromatiques, démontre une excellente résistance à l'hydrolyse (*vapeur chauffée jusque 280°C ou eau bouillante*).

Cela permet au PEEK de pouvoir être stérilisé de façon répétitive sans altération pour ses différentes applications médicales.

Il est également résistant aux solvants, aux acides non organiques (lessives, hydrocarbures, alcools, huiles ou graisses) et aux rayons gamma.

Mais il n'est pas résistant aux acides organiques tels que l'acide sulfurique ou l'acide nitrique et il est peu résistant à l'acide acétique (22).

### **3.6 Résistance aux rayonnements et radio transparence**

#### **3.6.1 Radio transparence du PEEK**

En 2002 Citak et coll. mènent une étude comparative de la quantité d'artéfacts lors de la numérisation de points anatomiques pour une chirurgie assistée par ordinateur.

L'étude conclue que l'on retrouve de nombreux artéfacts métalliques sur les sites présentant de l'acier et/ou du titane.

Le site avec du PEEK présente très peu d'artéfact (même quantité que le site sans matériau étranger) (23).

Cette expérience conclue à la radio transparence du PEEK, il n'entraîne pas d'artéfact en tomodensitométrie ni en imagerie en résonance magnétique nucléaire. C'est une propriété importante pour les applications médicales du matériau.

#### **3.6.2 Résistance aux rayonnements**

La stabilité aux rayonnements du PEEK a fait l'objet de nombreuses études au cours des deux dernières décennies en raison de son intérêt suscité par les applications spatiales et nucléaires, où l'exposition totale aux rayonnements varie de 10 à 50 MGy. Le PEEK est dégradé et à des doses supérieures à 10 MGy.

Les expositions dans les secteurs de l'aérospatiale et de l'énergie nucléaire dépassent de trois ordres de grandeur les doses de stérilisation standard pour les dispositifs médicaux (25 à 40 kGy). La stérilisation répétée, avec jusqu'à quatre doses de 40 kGy de radiations gamma dans l'air, n'a pas entraîné de modification significative du comportement mécanique du PEEK. Le PEEK n'est donc pas résistant à toutes les doses de rayonnements, mais il résiste aux doses de rayonnements courantes notamment dans les domaine médical (3).

## 4 Domaines d'utilisation du PEEK

### 4.1 Les domaines non médicaux

Les propriétés mécaniques, électriques et thermiques ainsi que la faible inflammabilité du PEEK permettent son utilisation dans les domaines exigeants de l'aéronautique, de l'aérospatiale ainsi que dans l'industrie automobile. Ce sont d'ailleurs les ingénieurs de ces domaines qui ont mis au point le PEEK et le PEKK pour répondre à ces domaines d'utilisation très complexes (2).

### 4.2 Le domaine médical

La biocompatibilité exceptionnelle du PEEK ainsi que ses propriétés mécaniques proches de l'os cortical permettent son utilisation dans le domaine médical. Sa radio transparence ainsi que sa résistance à l'hydrolyse et aux rayonnements, c'est-à-dire à la stérilisation, sont des propriétés très importantes dans ce domaine.

Il est commercialisé dans ce domaine à partir de 1998 sous le nom PEEK OPTIMA®.

Il est utilisé en :

- Orthopédie : arthrodèse du genou / poignet / de la cheville, arthrodèse cervicale et lombaire / cage inter vertébrale ou inter somatique pour les malformations ou les lésions du rachis
- Traumatologie : fixation des fractures osseuses avec des plaques ou des vis en PEEK
- Chirurgie maxillo-faciale : plaque crânienne pour des lésions ou des malformations esthétiques ou fonctionnelles (3).



Figure 11 : Cage inter vertébrale en PEEK et plaque crânienne en PEEK, Patrick Renard (24).

## **4.3 Le domaine dentaire**

### **4.3.1 La prothèse amovible**

Le PEEK est utilisé pour des châssis de prothèses amovibles partielle en alternative notamment au Chrome Cobalt pour des raisons allergiques, ou de confort (25).

### **4.3.2 La prothèse fixée**

Le PEEK est utilisé pour des armatures de couronnes unitaires ou des armatures de prothèse plurale qui seront recouvertes de résine composite au laboratoire pour l'esthétique (1).

### **4.3.3 L'implantologie**

Le PEEK est un matériau en plein essor en implantologie grâce à ses propriétés de biocompatibilité et ses propriétés mécaniques proches de l'os cortical.

Le PEEK est utilisé pour :

- Les implants ; il permet de limiter le phénomène de « stress shielding » que l'on observe avec les implants en titane (26).
- Les barres implantaires
- Les vis de cicatrisation / les capuchons de cicatrisation ; il permet une excellente cicatrisation grâce à sa biocompatibilité et à son excellente tolérance par les tissus mous.
- Les piliers implantaires transitoires ou définitifs (1)

### **4.3.4 La prothèse maxillo-faciale**

Les obturateurs dans cette discipline sont classiquement réalisés en résine.

La réalisation d'un obturateur en PEEK permet :

- Une simplification de réalisation de l'obturateur (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur)
- Un poids de la prothèse significativement plus léger
- Une excellente réaction des tissus mous en contact avec l'obturateur due à la biocompatibilité du PEEK.

L'obturateur en PEEK est décrit plus confortable par les patients notamment grâce à son poids significativement plus léger qu'un obturateur classique en résine (27).

#### **4.3.5 L'orthodontie**

Le PEEK est utilisé pour certains fils orthodontiques pour quelques cas rares (1).



## **5 Indications d'un châssis de prothèse amovible partielle en PEEK**

Les châssis de prothèse amovible partielle en PEEK sont utilisés dans des cas particuliers, notamment lorsque les châssis métalliques sont peu indiqués ou contre-indiqués.

### **5.1 Les allergies aux châssis métalliques**

Les alliages précieux ou semi précieux anciennement utilisés en dentisterie et peu allergènes tendent à être substitués par des alliages non précieux majoritairement pour des raisons économiques.

#### **5.1.1 Les alliages à base nickel**

Le Nickel Chrome (NiCr), le Nickel Chrome Béryllium (NiCrBe) et le Nickel Chrome Molybdène (NiCrMo) sont des alliages à base Nickel ou « superalliages ». Ils se composent de plus de 85% de Nickel. Ils sont actuellement remis en cause par leur potentiel allergisant important et leur biocompatibilité réduite (25).

Le Nickel est l'allergène le plus fréquent en Europe et dans les pays industrialisés. La sensibilisation au Nickel touche 8 à 18% de la population générale en Europe, majoritairement des jeunes femmes. Les facteurs les plus importants de développer une allergie au Nickel sont d'être jeune et de sexe féminin (28).

Les signes cliniques sont locaux (dermatite ou eczéma de contact) ou à distance (signes cutanés comme l'eczéma palmaire, ou pulmonaires).

Afin de limiter ce problème de santé publique, une directive européenne (EU directive 97/27/CEE paragraphe 2) impose l'interdiction d'éléments à base de Nickel qui ont un taux de relargage supérieur à 0,5 µg/cm<sup>2</sup> par semaine.

Depuis cette directive, une baisse significative de la prévalence de l'allergie au Nickel a été observée (11,4% contre 19,8% avant la directive chez les femmes âgées de 18 à 35 ans) (29).

Le Nickel a été reconnu à l'origine de maladies professionnelles chez les prothésistes dentaires.

L'utilisation du Nickel en dentisterie et notamment pour les châssis métalliques de prothèse amovible partielle est donc à proscrire, en effet le risque d'allergie à ce matériau est trop élevé.

### **5.1.2 Les alliages à base chrome cobalt**

Les alliages à base Cobalt sont le Chrome Cobalt (CoCr), Le Chrome Cobalt Molybdène (CoCrMo). Ils sont composés de 50 à 70% de Cobalt et 20 à 30% de Chrome.

La majorité des châssis métalliques sont actuellement réalisés en chrome cobalt, ils sont appelés « stellites ».

#### **5.1.2.1 Le cobalt**

La prévalence d'allergie de contact à cet allergène et ses dérivés dans la population générale est évaluée à 1% (30).

Une étude danoise démontre une tendance à la baisse de cette prévalence (1,1% en 1990 à 0,2% en 2006 sur un échantillon de la population générale au Danemark avec tests épicutanés) (31).

#### **5.1.2.2 Le chrome**

Le chrome n'est pas décrit comme un allergène, mais au contact de la peau, des muqueuses ou de la sueur, il se forme un sel de chrome et ses dérivés qui ont un potentiel allergisant. Le chromate III ou chromate trivalent et le chromate VIII ou chromate hexavalent sont les dérivés du chrome les plus sensibilisants. La prévalence de cette allergie dans la population générale a été évaluée entre 1 et 3%. Elle se traduit le plus souvent par une dermatite de contact (30).

### **5.1.3 Le titane**

Le titane est un matériau également utilisé pour les châssis de prothèse amovible partielle.

En 2008, Sicilia A et coll. publient une étude prospective sur l'allergie au titane. Cette étude est effectuée sur une période de trois ans et sur 1500 patients porteurs d'implants dentaires en titane.

Ils concluent que 50% (8 sujets sur 16) des patients présentant des signes cliniques d'allergie suites à la pose d'implant en Titane ont un test épicutané positif au Titane. Par ailleurs 5,3% (1 sujet sur 19) des patients signalant une allergie à un autre métaux présentent un test épicutané positif au Titane (32).

Ces résultats sont sous-estimés selon l'étude menée par Müller K et coll. en 2006. En effet des tests sont faits chez 56 sujets suspects d'une allergie au Titane due à une exposition chronique à celui-ci. 100% des sujets les tests épicutanés (patch tests) sont négatifs et 37,5% des sujets ont un TTL positif. Le TTL est un test de transformation lymphocytaire ; il s'agit d'un test in vitro qui permet de révéler une hypersensibilité à un allergène (33).

#### **5.1.4 Manifestations des allergies aux châssis métalliques prothétiques**

##### ***5.1.4.1 Les signes cliniques locaux***

Les dermatites de contact sont les manifestations les plus fréquentes des réactions allergiques aux alliages non précieux. Les signes cliniques observés sont indépendants de la dose et de la durée d'exposition à l'allergène.

Les manifestations orales d'allergie aux alliages dentaire sont rares et le diagnostic est difficile car il est très peu spécifique.

En effet, la principale réaction allergique est la dermatite de contact c'est-à-dire dans le milieu buccal la stomatite allergique avec des réactions érythémateuses, ulcérées, vésiculaires, érosives ou œdémateuses.

Des réactions locales de types lésions blanches, lichénoïdes, kératoses, rash, chéillite ou glossite peuvent également être observées.

Les signes subjectifs et sensations de douleurs, prurit ou brûlures doivent également être pris en compte lors de la démarche diagnostique du praticien (25).



Figure 12 : Chéilite exfoliative en regard d'un implant dentaire en Titane chez une patiente âgée de 41 ans. Les allergies aux métaux ont été confirmées par des patch-tests, Pigatto et coll (34).

Les manifestations cliniques de l'allergie à des alliages dentaires peuvent apparaître à distance du milieu intra-oral. Elles peuvent être concomitantes à des manifestations locales.

Les réactions peuvent être de type cutané : dermatite, urticaire, eczéma, œdème, eczéma chronique des joues et palmaires, eczéma atopique du scalp, des paupières, des oreilles, des lèvres.

Des réactions respiratoires peuvent être observées de type rhinite, asthme ou encore des réactions ophtalmologiques avec des conjonctivites (25).

### **5.1.5 Diagnostic positif de l'allergie**

Lorsque les manifestations cliniques d'une allergie sont observées, il faut confirmer ou infirmer le diagnostic d'allergie et déterminer l'allergène responsable. Il convient alors d'adresser son patient dans un service spécialisé d'allergologie.

L'allergie ou l'hypersensibilité à un alliage métallique est validée grâce à différents tests effectués :

- Des tests épicutanés appelés patch-tests pour les réactions d'hypersensibilité retardée ; contact de l'allergène avec la peau pendant 48h sous des patches avant interprétation des résultats.
- Des tests intradermiques pour les réactions d'hypersensibilité retardée ; injection de l'allergène en sous cutané en milieu hospitalier puis interprétation des résultats.

- Des Prick-tests pour les réactions d'hypersensibilité immédiate : contact de l'allergène avec le derme suite à une puncture pendant 20 minutes avant interprétation des résultats (35).
- Des tests TTL : tests de transformations lymphocytaires également appelés TPL : tests de prolifération lymphoblastique. C'est un test in vitro qui mesure l'hypersensibilité à un allergène tel qu'un allergène métallique (36).



Figure 13 : Test épicutané positif au Cobalt, M Crépy (30).

Lorsque l'allergie aux métaux est confirmée et l'allergène identifié, il faut entreprendre son éviction totale et trouver une alternative au châssis métallique de la prothèse amovible partielle du patient.

## **5.1.6 Les patients à risque allergique**

Certaines populations de patients présentent un risque allergique aux métaux plus élevé que la population générale.

### ***5.1.6.1 Les patients présentant un lichen plan ou des lésions lichénoïdes***

Une étude menée par Scalf A N et al. en 2001 démontre que la sensibilisation aux métaux dentaires est plus fréquente chez les patients atteints de Lichen Plan et lésions lichénoïdes que chez les patients testés en routine. Dans cette étude 51 patients atteints de Lichen Plan ou lésions lichénoïdes sont testés par patchs à une hypersensibilité aux métaux dentaires. 38 patients soit 74,5% ont une réaction positive à au moins un métal testé. Une différence significative a notamment été trouvée pour le chrome. Parmi les patients ayant eu une réaction positive au patch, 100% ont signalé une amélioration suite au remplacement du métal.

Ainsi, l'utilisation de métaux dentaires peut être un facteur étiologique ou déclencheur de cette maladie. Ils convient alors de limiter l'utilisation des métaux chez les patients porteurs de Lichen Plan et de remplacer les métaux chez les patients qui développent un Lichen Plan ou des lésions lichénoïdes (37).

### ***5.1.6.2 Les patients présentant des dermatites***

Les patients qui présentent des dermatites notamment de contact ont plus de risque d'être allergique à un composé métallique que la population générale.

En effet, des tests épicutanés chez 19 793 patients atteints d'eczéma ont été réalisés dans 10 centres européens entre 2005 et 2006. La prévalence de l'allergie au chlorure de cobalt est évalué par tests épicutanés entre 6,2% et 8,8% selon les pays (contre 1% dans la population générale) (38).

Une Méta-analyse de toutes les publications de résultats des tests épicutanés chez les patients avec des dermatites de contact entre 1996 et 2000 montre que les allergènes les plus fréquents sont ; le nickel (14,7% de tests positifs), le thimesoral (5,0% de tests positifs) et le cobalt (4,8% de tests positifs) (39).

Il convient donc dans le contexte d'un patient présentant une dermatite de limiter l'utilisation des composés métalliques notamment lors de la confection de prothèse

amovible partielle ; ou de procéder à des tests d'allergologie à ces composés afin d'évaluer la tolérance du patient envers ceux-ci.

### **5.1.7 L'alternative du PEEK**

Le PEEK présente une excellente biocompatibilité avec les différents tissus auxquels il peut être exposé : les tissus mous, le tissu osseux ou le tissu nerveux. Cette biocompatibilité est démontrée selon plusieurs études in vivo et in vitro présentées précédemment (13–18).

Depuis le début de son utilisation dans le domaine médical c'est-à-dire depuis 1998, un seul cas d'allergie au PEEK a été répertorié.

Ce cas a été rapporté par L Andres en 2015 ; suite à la pose d'une cage intervertébrale cervicale de décompression et de fusion en PEEK, le patient a présenté un tableau clinique d'allergie chronique. L'allergie a été confirmée grâce à un patch test. L'ensemble des symptômes ont disparus suite au retrait de la cage implantée (40).

Le PEEK est une excellente alternative aux métaux pour les châssis de prothèse amovible partielle lorsque le patient présente une allergie avérée aux composés métalliques. En effet, il présente une tolérance exceptionnelle et un risque minime d'intolérance.

Il est indiqué également chez les patients « à risque allergique » aux composés métalliques : les patients présentant des allergies de contact, des dermatites atopiques, un Lichen Plan ou des lésion lichénoïdes.

## 5.2 L'électro galvanisme

La corrosion des matériaux et notamment des métaux dentaires est un élément à prendre à compte afin de choisir quel type de matériau utiliser pour effectuer une prothèse amovible partielle.

### 5.2.1 Définition de l'électro galvanisme

L'électro galvanisme est le micro courant à basse tension créé par l'interaction des différents métaux sous l'effet de la salive. Il se mesure en Volt (V) ou en milli Volt (mV).

Il requiert la présence de conditions :

- 2 métaux de nature différente au potentiel d'oxydo-réduction différents
- La présence d'un électrolyte les recouvrant : la salive dans le milieu buccal.

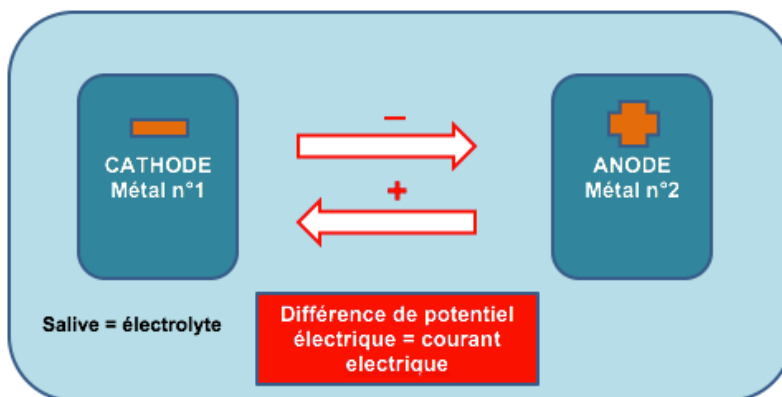


Figure 14 : Schéma de la pile et de la création d'un courant électrique.

Lorsque les métaux sont plongés dans un électrolyte commun, il apparaît entre ces deux métaux une différence de potentiel électrique à l'origine du courant électrique.

On retrouve alors :

- Une Cathode (*souvent le matériau le plus noble*) : borne négative
- Une Anode : borne positive
- Un échange d'ions positifs et négatifs : courant électrique

C'est le modèle de la pile de Leclanché décrite en 1877 (41)(42).



## 5.2.2 Définition de la corrosion

La corrosion est le résultat de la réaction chimique ou électro chimique entre un matériau, généralement un métal, et son environnement qui entraîne une dégradation du matériau et ses propriétés.

## 5.2.3 Classification des matériaux selon leur potentiel de résistance à la corrosion

Une classification des métaux dentaires selon leur résistance à la corrosion est proposée en 2005. Le système de classification appliqué définit cinq classes et il est proposé que les alliages de classe V ne soient pas acceptables.

L'Or et le Zinc sont utilisés comme matériaux de référence. L'Or est très résistant à la corrosion, tandis le Zinc est extrêmement corrodable. Différents tests sont effectués afin de déterminer une note aux métaux et de déterminer leur résistance à la corrosion électrochimique.

<b>Métal analysé</b>	<b>Note attribuée suite aux tests</b>	<b>Classe attribuée</b>	<b>Interprétation de la résistance à la corrosion</b>	<b>Acceptabilité du matériau</b>
<b>Or</b>	5/5	I	Excellente résistance à la corrosion.	Très Acceptable
<b>Zinc</b>	0/5	V	Mauvaise résistance à la corrosion	Inacceptable
<b>Nickel</b>	2,756/5	V	Mauvaise résistance à la corrosion	Inacceptable
<b>Titane</b>	4.987/5	II	Très bonne résistance à la corrosion	Très Acceptable
<b>Alliages à base de Chrome Cobalt</b>	De 4.030/5 à 4,603/5	III	Moyenne résistance à la corrosion	Acceptable

Figure 15 : Tableau réalisé à partir des données de la Classification des matériaux dentaires selon leur résistance à la corrosion d'après Claire Manaranche (43).

Ces tests et cette classification démontrent une excellente résistance de l'Or et du Titane à la corrosion. Les alliages à base de Chrome Cobalt utilisés pour les châssis de prothèses amovibles partielles sont définis de classe III ; c'est-à-dire « une résistance à la corrosion moyenne » selon cette étude (43).

#### **5.2.4 Effets de la corrosion**

Il existe une grande variabilité interindividuelle lors des phénomènes de corrosion dans le milieu buccal. Ainsi, les manifestations cliniques d'un patient à l'autre peuvent être différentes malgré un mécanisme des réactions toujours identique.

Les symptômes cliniques peuvent être :

- Locaux : chocs électriques pulpaire, fractures radiculaire, apparitions de caries dentaires (adjacentes aux reconstitutions métalliques), ternissements des alliages ou tatouages gingivaux (relargage d'ions Argent).
- Locorégionaux : atteinte du parodonte et des muqueuses avec : un érythème, des érosions, des ulcérations, une gingivite, une stomatite, des chéilites, des perlèches ou des kératoses.
- Une atteinte des glandes salivaires est également possible de type hypertrophie glandulaire provoquant alors une hypersialie (41).

#### **5.2.5 L'alternative du PEEK**

L'utilisation de métaux de natures différentes chez un même patient favorise l'électro galvanisme et la corrosion qui sont à l'origine de symptômes complexes peu spécifiques.

Le praticien doit prescrire le ou les alliages utilisés en prenant compte de l'ensemble des paramètres cliniques existants. Il peut réaliser un bilan des alliages présents dans la cavité buccale afin de mesurer les éventuels risques de corrosion. Il faut dans la mesure du possible limiter le nombre de matériaux métalliques utilisés (41).

Dans le cadre de la prothèse amovible partielle, la réalisation d'un châssis classique en chrome cobalt peut être à l'origine d'électro galvanisme ; sa résistance à la corrosion est évaluée moyenne.

L'alternative d'une prothèse amovible partielle en PEEK permet d'éviter de multiplier la présence de métaux dans la cavité buccale. Le PEEK n'est pas corrodable et évite tout phénomène d'électrolyse avec les matériaux métalliques déjà présents chez le patient.

### **5.3 Les patients à risque parodontal**

La réalisation d'un châssis conventionnel en Chrome Cobalt est source de stress pour les dents supports de crochets. En effet, des forces leurs sont appliquées de façons chronique et quotidienne. Ces forces peuvent être à l'origine de mobilités dentaires et/ou de complications parodontales (44).

#### **5.3.1 L'alternative du PEEK**

Les dentistes ayant déjà utilisé les prothèses amovibles partielles en PEEK décrivent une insertion et une désinsertion plus douce de la prothèse due à la flexibilité du matériau (*3,8 GPa pour le PEEK et 200 GPa pour le chrome cobalt*). Cette flexibilité permet alors de diminuer les forces exercées sur les dents support de crochets. Cet aspect est intéressant dans le cadre d'une réhabilitation par prothèse amovible chez un patient présentant un risque parodontal.

B Picart et coll. ont effectué la comparaison d'un châssis en Chrome Cobalt et d'un châssis en PEEK de prothèse amovible partielle. Les deux châssis respectent le même tracé de plaque sur un modèle strictement identique. Le châssis en PEEK est légèrement épaissi dû à la flexibilité du matériau. L'insertion et la désinsertion des châssis sur le modèle sont testées (8).

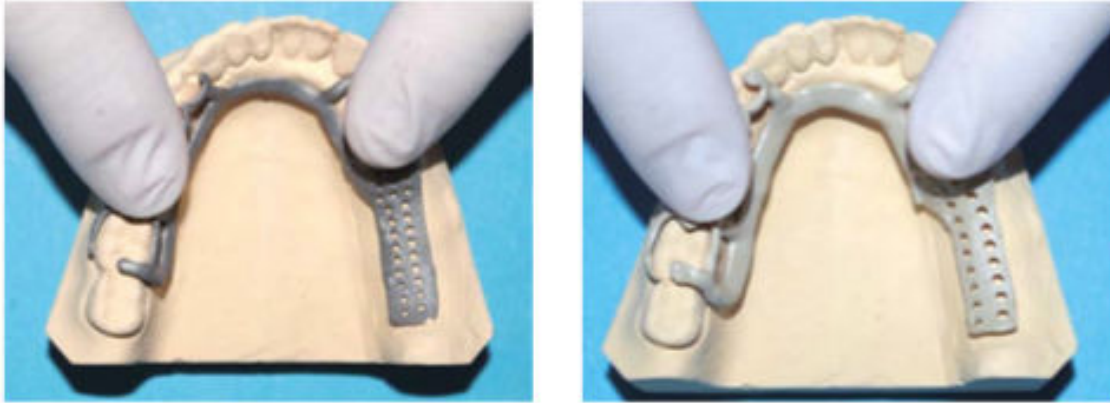


Figure 16 : Test de l'insertion du châssis en Chrome Cobalt à gauche et du châssis épaissi en PEEK à droite, B Picart et coll. (8).

L'insertion est réalisée sur le maître modèle par une pression bilatérale légère sur l'armature.



Figure 17 : Test de la désinsertion du châssis en Chrome Cobalt à gauche et du châssis épaissi en PEEK à droite, B Picart et coll. (8)

La désinsertion est réalisée par une traction bilatérale sur les bras de rétention des crochets jusqu'à obtenir la décoaptation de l'armature du modèle.

L'insertion et la désinsertion de l'armature en PEEK sont jugées plus douces que l'armature en Chrome Cobalt. Ce résultat est à mettre en corrélation avec la flexibilité du matériau.

Tannous et coll. ont mené en 2012 une étude comparative afin d'évaluer la rétention des crochets thermoplastiques en PEEK et des crochets en alliage chrome cobalt par un test d'insertion et de désinsertion. Ils ont conclu à une rétention nettement inférieure des crochets en PEEK due à la flexibilité du matériau. Cliniquement, les forces scoliodontiques exercées sur les dents supports de crochets sont alors plus douces et moins traumatiques avec des crochets en PEEK que des crochets métalliques. C'est un aspect intéressant chez les patients à risque parodontal, en effet la mise en place d'un crochet sur une dent est un facteur de risque de développement de mobilité et/ou de complications parodontales (45).

#### **5.4 Les malpositions / versions dentaires**

La réalisation d'un châssis de prothèse amovible partielle en Chrome Cobalt nécessite une étude rigoureuse de l'axe d'insertion de la prothèse. Cette étude est classiquement réalisée sur le modèle d'étude à l'aide d'un paralléliseur. Elle permet de déterminer l'axe d'insertion et de désinsertion de la future prothèse. Le parallélisme des faces dentaires concernées peut être obtenu grâce à une préparation des surfaces dentaires appelée améloplastie ou coronoplastie. Le parallélisme du complexe ostéo muqueux et également recherché afin d'obtenir l'axe d'insertion de la prothèse.

##### **5.4.1 L'alternative du PEEK**

Le manque de flexibilité du Chrome Cobalt est une contrainte lorsque les axes dentaires sont divergents. Une préparation des dents supports de crochets doit alors être effectuée.

L'utilisation du PEEK pour la réalisation d'un châssis dans ce cas permet de passer les contre dépouilles des dents sans déformation du matériau et d'éviter la préparation des surfaces dentaires. La grande flexibilité du PEEK permet alors la réalisation d'un châssis de prothèse amovible partielle dans certains cas de malpositions ou versions dentaires tout en respectant le principe d'économie tissulaire.

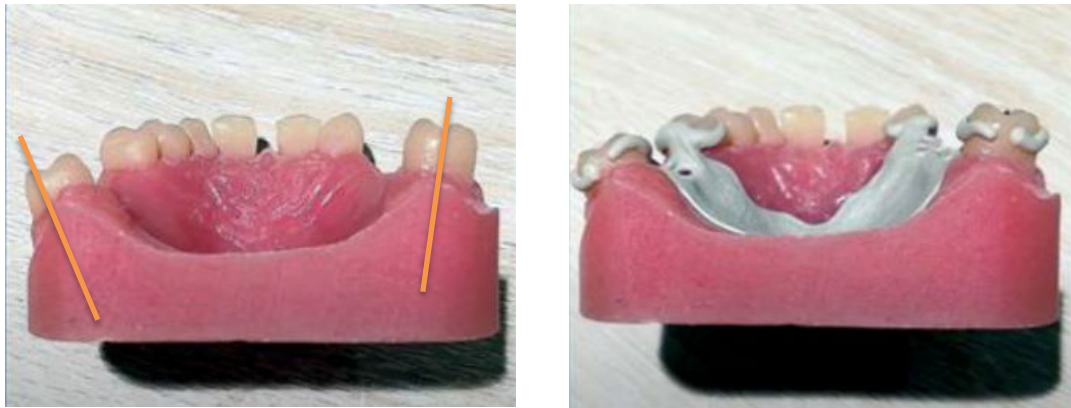


Figure 18 : Réalisation d'un châssis en PEEK sur un modèle maxillaire avec des axes dentaires divergents d'après J Hosten (46).

## ***5.5 Les critères idéaux de satisfaction des prothèses amovibles partielles selon les patients***

### **5.5.1 La satisfaction des patients**

Mesurer la satisfaction et l'observance du patient est primordial lors de la réalisation d'une prothèse amovible partielle. La satisfaction du patient à l'égard de la prothèse peut avoir un impact préjudiciable sur le succès du traitement. En effet son insatisfaction à l'égard de la prothèse réalisée conduira à une sous-utilisation ou un abandon de sa prothèse amovible (44).

En 2009, une étude rétrospective sur l'utilisation continue et le degré de satisfaction de 67 patients porteurs de prothèses amovibles a révélé que 39% d'entre eux n'utilisaient plus leur prothèse au bout de 5 ans.

Les différents critères significatifs relevés significatifs sont : l'âge du patient, l'emplacement de la zone édentée, le nombre de dents remplacées et la douleur ressentie par le patient (47).

De plus, l'apparence esthétique des prothèses amovibles partielles est un critère essentiel de satisfaction et donc d'utilisation de celles-ci.

### 5.5.2 L'absence de « goût métallique » des prothèses amovibles partielles

Les prothèses amovibles partielles classiquement réalisées avec un châssis métallique en Chrome Cobalt sont à l'origine d'électro galvanisme lorsque des reconstitutions métalliques sont présentes au sein de la cavité buccale. Les échanges d'ions créent un micro courant électrique qui peut donner aux patients une sensation de « goût métallique » en bouche. Lorsque le PEEK est utilisé pour la réalisation d'un châssis de prothèses amovible ; il permet d'éviter l'électro galvanisme et les phénomènes de corrosion. Ainsi il permet aux patients de ne pas avoir la sensation de « goût métallique » (48).

### 5.5.3 Le poids léger des prothèses amovibles partielles

Le poids de la prothèse amovible partielle est un critère essentiel de confort pour les patients. En effet, un dispositif léger permet une meilleure acceptabilité de la part des patients et donc une meilleure observance.

B Picart et coll. ont mené une étude comparative de la réalisation de châssis mandibulaires identiques en Chrome Cobalt et en PEEK. Le châssis en PEEK a été légèrement épaissi. Lors de la pesée des châssis nus, les résultats sont les suivants :

- Châssis en Chrome Cobalt : 6,8 g
- Châssis en PEEK : 1,0 g.



Figure 19 : Pesées des châssis mandibulaire en Chrome Cobalt à gauche et en PEEK à droite, B Picart et coll. (8).

Un châssis en PEEK est alors beaucoup plus léger qu'un châssis métallique classé réalisé en Chrome Cobalt et donc plus confortable pour les patients.

Un cas clinique réalisé en 2015 par Zoïdis P et coll. consiste à remplacer à la demande de la patiente son ancien stellite (en chrome cobalt) par un châssis non métallique. Il utilise alors le PEEK modifié renforcé en particules de céramique (BioHPP®) afin de réaliser un nouveau châssis.

Lors de sa mise en place la patiente est très satisfaite du faible poids de l'appareil. Une pesée des prothèses est réalisée ; le châssis en PEEK est plus léger (9,0 g) que le châssis en chrome cobalt (12,4 g). Cette différence est à pondérer car les tracés de plaque des châssis sont très différents. Le châssis métallique est de type barre linguale tandis que le châssis en PEEK modifié est de type bandeau lingual (48).



Figure 20 : Pesée comparative des châssis de prothèse amovible partielle en chrome cobalt et en BioHPP®, P Zoïdis (48).

#### 5.5.4 L'esthétique

L'esthétique de la prothèse amovible partielle est une doléance fréquemment rencontrée en sein du cabinet dentaire. Lorsque le châssis est réalisé en métal (chrome cobalt), les bras de rétention peuvent être visibles et gêner le patient.

Le PEEK présente la couleur blanche ou naturelle qui peut satisfaire certains patients bien que sa teinte soit encore très différente que celle des dents naturelles (8).



Zoïdis et coll. lors d'un cas clinique remplace le châssis métallique de sa patiente par un châssis en PEEK modifié. La patiente est très satisfaite de l'esthétique de sa prothèse et de l'aspect « non métallique » du matériau (48).



Figure 21 : Photographies intrabuccales du châssis en Chrome Cobalt à gauche et du châssis en PEEK à droite, P Zoïdis (48).

## 5.5.5 La rétention

### 5.5.5.1 La forces de rétention des crochets

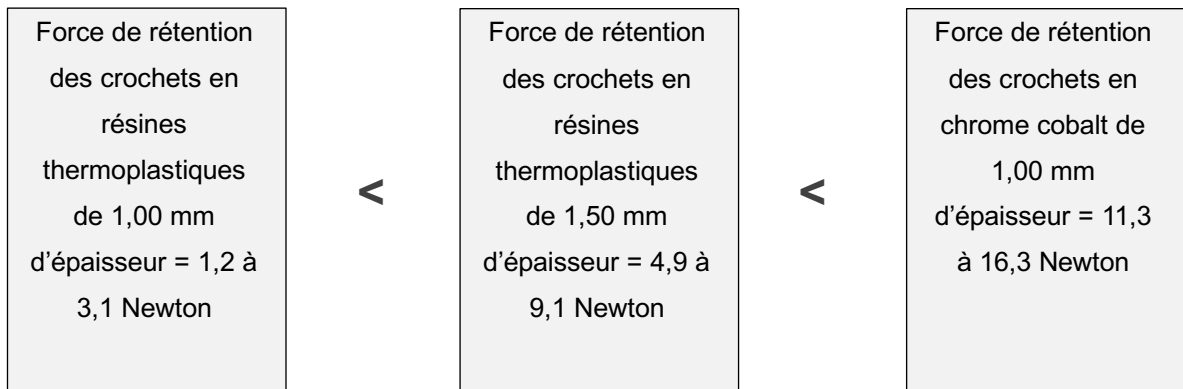
La rétention de la prothèse amovible partielle est un critère essentiel de satisfaction des patients. Dans le cas de la prothèse amovible partielle, les crochets des châssis sont indispensables au maintien des prothèses.

En 2012, Tannous et coll. ont mené une étude comparative afin d'évaluer la force de rétention des crochets thermoplastiques et des crochets en alliage chrome cobalt par un test d'insertion et de désinsertion. Ce test simule 10 ans d'utilisation des crochets grâce à 15 000 cycles insertion/désinsertion sur une couronne métallique type. Deux types de contre-dépouilles sont testées 0,25 mm et 0,5 mm.

112 crochets sont réalisés : 16 en Chrome Cobalt de (1,00 mm d'épaisseur) et 32 crochets (16 de 1,00 mm d'épaisseur et 16 de 1,50 mm d'épaisseur) de chacune des résines thermoplastiques suivantes : PEEK, PEKK, POM (polyoxyéthylène).

La force de rétention est mesurée tous les 1500 cycles.

Les résultats obtenus sont les suivants :



L'ensemble des valeurs de rétention sont supérieures pour les tests avec la contre-dépouilles de 0,5 mm par rapport à celle de 0,25 mm.

Les crochets en résines thermoplastiques sont moins rétentifs que les crochets en Chrome Cobalt quelle que soit leur épaisseur. En effet les résines thermoplastiques sont plus flexibles que le métal. Les crochets en résine thermoplastiques d'épaisseur augmentée 1,50 mm sont plus rétentifs que les crochets thermoplastiques d'épaisseur 1,00 mm.

La force de rétention acceptable et appropriée d'une prothèse amovible partielle est de 5 Newton. Une force de rétention comprise entre 3,7 N et 7,5 N peut être admise dans le cas d'un édentement postérieur bilatéral.

La rétention des crochets thermoplastiques légèrement épaissis est donc satisfaisante pour une utilisation clinique (45)(49)(50).

#### **5.5.5.2 La fatigue des crochets**

Tannous et coll. ne démontre pas de baisse de rétention lors des différents cycles d'insertion et de désinsertion des crochets en Chrome Cobalt.

De précédentes études démontrent une baisse significative de la rétention des crochets en chrome cobalt suite à la déformation permanente du métal due à leur utilisation (51)(52).

Cette différence peut être expliquée par la méthode utilisée pour le test par Tannous et coll. En effet, c'est une machine qui simule l'utilisation des crochets, cette procédure permet d'éviter toute erreur d'axe ou de torque excessive. L'utilisation clinique des

crochets est plus variable et permet leur déformation. Elle influe donc négativement la rétention des crochets en alliage métallique.

La flexibilité du PEEK permet d'éviter toute déformation des crochets lors de leur utilisation et ainsi d'éviter la fatigue et la baisse de rétention de ceux-ci (45).

## **6 Inconvénients d'un châssis en PEEK**

### **6.1 Facteur économique**

Le PEEK est un matériau brut coûteux. Le châssis est réalisé à partir d'un disque usinable. Il permet la réalisation d'un ou deux châssis selon leur taille. Le disque peut être d'épaisseur variable (15mm à 30mm sont les épaisseurs les plus courantes). Selon ses propriétés et sa taille le disque brut est commercialisé entre 170 euros et 380 euros. Il faut ajouter à ce prix les frais de laboratoire de prothèse ainsi que les frais et charge du cabinet dentaire. Le prix de revient d'un châssis en PEEK est donc supérieur à un châssis en chrome cobalt (53). Des recherches sont actuellement en cours afin de trouver des nouveaux procédés de fabrication pour baisser le coût du matériau (2).

### **6.2 L'esthétique**

Le PEEK est de couleur blanche, grisée ou naturelle. L'aspect non métallique du châssis satisfait certains patients, mais la teinte actuelle du PEEK n'est pas satisfaisante par rapport à la teinte des dents naturelles. Les bras de rétention des crochets peuvent alors être à l'origine d'une gêne esthétique pour le patient (8).

### **6.3 Activation des crochets**

La flexibilité du PEEK empêche toute activation des crochets. Le châssis et les bras de rétention des crochets doivent alors être parfaitement adapté à l'anatomie dentaire. Les crochets en PEEK ne subissent pas de « fatigue », ni de déformation ou de distorsion grâce à la flexibilité du matériau ; il ne sera donc pas nécessaire de les réactiver (45).

### **6.4 Pérennité du châssis en PEEK**

Le PEEK est un matériau utilisé dans le domaine dentaire de façon récente, peu d'études ont été réalisées sur son comportement dans le temps au sein de la cavité buccale. Certaines colorations dues aux colorants alimentaires notamment au carotène sont décrites. Des études supplémentaires seront nécessaires concernant la pérennité du châssis en PEEK (54).

## 7 Conception d'un châssis en PEEK

### 7.1 Rappels sur le tracé de plaque

#### 7.1.1 La triade de Housset

La conception du tracé de la prothèse amovible partielle doit répondre à la triade de Housset afin de permettre sa bonne intégration. Les trois facteurs sont décrits par

E. Batarec :

- La sustentation est « la réaction qui s'opposant aux forces axiales tendant à enfoncer la prothèse dans les tissus d'appuis ».
- La stabilisation est « la réaction s'opposant aux forces tendant à faire subir à la prothèse des mouvements de translation horizontale ou de rotation ».
- La rétention est « la réaction s'opposant aux forces axiales qui ont tendance à éloigner la prothèse des tissus qui la soutiennent » (55).

#### 7.1.2 Les types d'armatures

Les armatures maxillaires classiques métalliques peuvent être :

- Une plaque étroite (indiquée pour les édentements encastrés).
- Une plaque large qui englobe les tubérosités (indiquée pour les édentements de classe I ou II de Kennedy).
- Une plaque à recouvrement complet (indiquée pour les édentements de classe I de Kennedy de large étendue).
- Une plaque en U qui libère le raphé médian (indiquée pour les édentements de classe I ou II avec un raphé médian volumineux)
- Une entretoise palatine (indiquée pour les édentements de faible étendue car fragile)
- Une double entretoise palatine qui libère le raphé médian (indiquée pour un raphé volumineux) (56).



Figure 22 : Types d'armature maxillaire de gauche à droite : la plaque étroite, la plaque large, la plaque à recouvrement complet et la plaque en U, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).



Figure 23: Types d'armature maxillaire de gauche à droite : la plaque à recouvrement complet, la simple entretoise palatine et la double entretoise palatine, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).

Les armatures mandibulaires classiques métalliques peuvent être :

- Une barre linguale (indiquée en première intention). (Elle est contre indiquée si l'espace entre les collets et la limite du frein lingual n'est pas de 7mm minimum ou si la table osseuse interne est de contre dépouille).
- Un bandeau lingual (indiqué si l'espace entre les collets et la limite du frein lingual est inférieure à 7mm). (Il est contre indiqué si les espaces cervico-radicaux sont importants).
- L'entretoise cingulaire (indiquée pour les espaces cervico-radicaux importants). (Elle est contre indiquée en présence de diastème) (56).

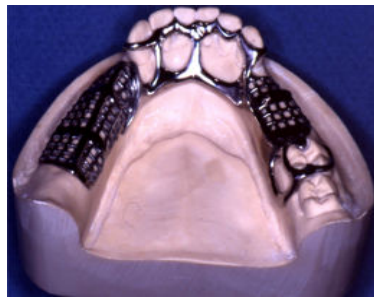


Figure 24 : Type d'armature mandibulaire : la barre linguale associée à une barre cingulo-coronaire, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).



Figure 25: Types d'armature mandibulaire : à gauche bandeau lingual et à droite entretoise cingulaire, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).

### 7.1.3 Les crochets

Les crochets sont les parties de la prothèse amovible partielle qui permettent la connexion entre la prothèse et les dents naturelles. Ils assurent la sustentation la rétention et la stabilisation de la prothèses amovible partielle.

Ils sont composés :

- De la potence
- De taquet d'appuis
- De bras de calage
- De bras de rétention

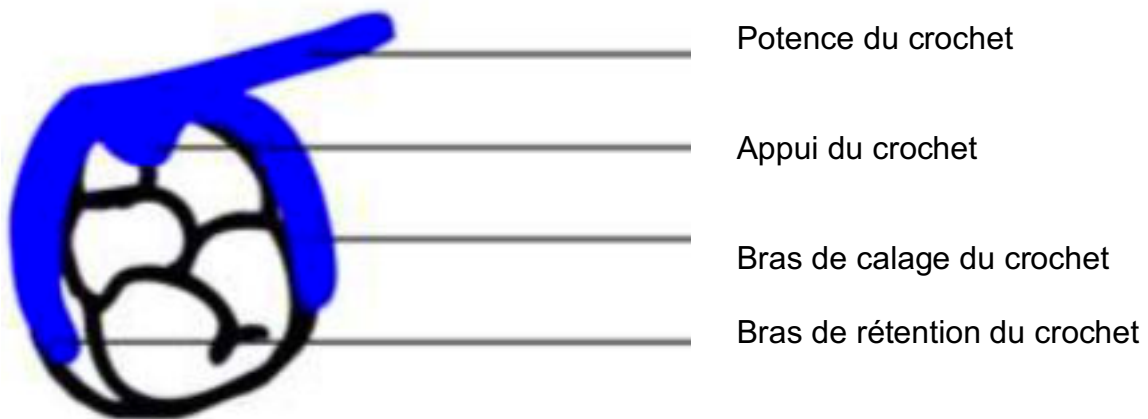


Figure 26 : Différents composants d'un crochet d'après R Lèpan (56).

Ils existent différents types de crochets qui permettent de répondre à des indications particulières en fonction du type d'édentement, de la valeur de la dent, de la zone de rétention et de la valeur de la contre-dépouille.



## 7.1.4 Chronologie du tracé de plaque

### Détermination des indices biologiques au maxillaire et à la mandibule.

Au maxillaire ;

Les indices positifs :

- Les tubérosités maxillaires
- Les lignes faîtières de crêtes édentées
- Les points de contact entre les dents naturelles et prothétiques sur la ligne guide des dents bordants l'édentement.

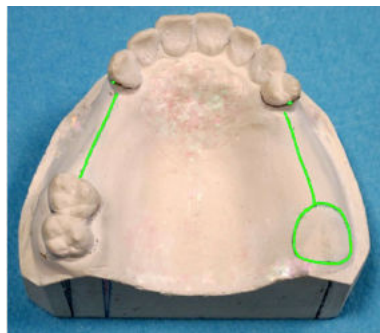


Figure 27: Tracé des indices biologiques positifs maxillaires, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).

Les indices négatifs :

- Les brides et freins
- La papille bunoïde
- Les papilles palatines
- Les fossettes palatines
- Les zones de Schröder
- Les ligaments ptérigo-maxillaires

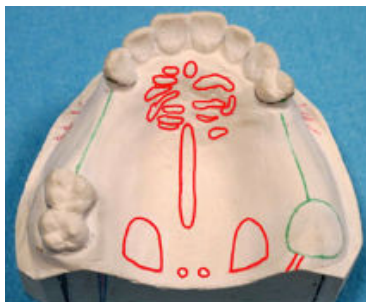


Figure 28 : Tracé des indices biologiques négatifs maxillaires, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).

A la mandibule ;

Les indices positifs :

- Les trigones rétro molaires
- Les lignes faîtières de crêtes édentées
- Les points de contact entre les dents naturelles et prothétiques sur la ligne guide des dents bordants l'édentement.

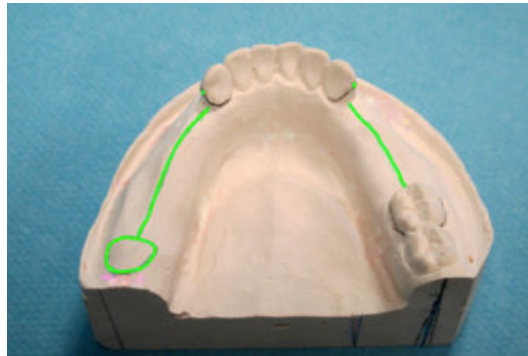


Figure 29 : Tracé des indices biologiques positifs mandibulaires, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57) .

Les indices négatifs :

- Les brides et freins
- Le frein lingual
- Les lignes mylo-hyoïdiennes
- Les ligaments ptérigo-maxillaires

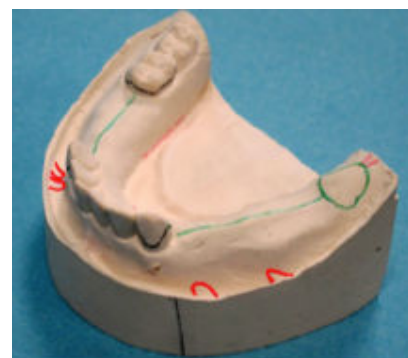
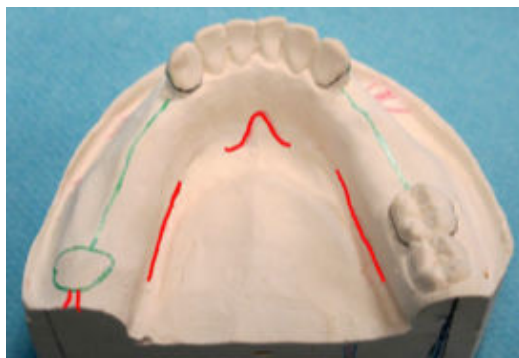


Figure 30 : Tracé des indices biologiques négatifs mandibulaires, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).

## Détermination des appuis et du polygone de sustentation.

Le positionnement des appuis directs respecte deux principes :

- Lorsque l'édentement est encastré, l'appui est positionné sur la dent bordant l'édentement du côté de l'édentement : en mésial de la dent distale de l'édentement et en distal de la dent mésiale de l'édentement.
- Lorsque l'édentement est terminal, l'appui est positionné sur la dent bordant l'édentement du côté opposé à l'édentement.

Le positionnement des appuis directs permet de visualiser les zones de rétentions primitives de la prothèse, les axes de rotation et un polygone de sustentation. Le positionnement d'appuis secondaire permet l'amélioration du tracé.

Le positionnement des appuis indirects est choisi en fonction

- Des axes de rotation et des mouvements prothétiques
- De la taille et de la symétrie du polygone de sustentation
- De la valeur des dents restantes
- Des impératifs de rigidité et de confort (56)

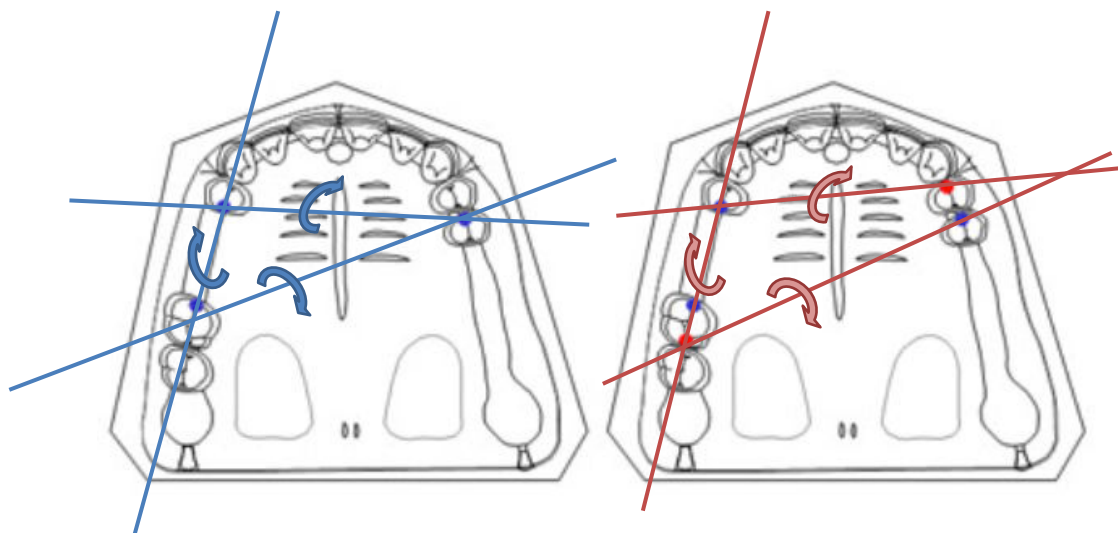


Figure 31: A gauche, choix des appuis directs et matérialisation des axes de rotation en bleu ; à droite choix des appuis indirects et matérialisation des axes de rotation en rouge d'après la sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).

## **7.2 Les spécificités du châssis en PEEK**

Le tracé et la conception d'un châssis en PEEK nécessitent d'être adaptés par rapport à un châssis en Chrome Cobalt due à la flexibilité du matériau.

En effet, le module d'élasticité du PEEK est de 3,8 GPa tandis que celui du Chrome Cobalt est de 200 GPa. L'épaississement des éléments constituant le châssis permet d'éviter l'obtention d'une prothèse amovible trop flexible et trop souple.

D'après Hosten J, prothésiste dentaire, le châssis nécessite d'être épaissi d'environ 20% par rapport à un châssis classique métallique pour obtenir une utilisation clinique satisfaisante de la prothèse (46).

La fiche technique fabricant du PEEK Optima ® Juvora, très utilisé en dentisterie, conseille :

- Une épaisseur minimale de l'armature de la prothèse amovible partielle de 2 mm et une largeur minimale de 8 mm.
- Une épaisseur minimale des crochets de 2 mm au niveau des bras de calage et des bras de rétention ainsi qu'une hauteur minimale de 3 mm.
- Des « trous de rétention » au niveau des selles de l'armature de diamètre de 2 mm maximum. La distance minimale entre deux trous adjacents doit être de 2 mm et la distance minimale entre un trou et le rebord externe de la selle doit être de 1,5 mm.
- La présence de renfort en « T » au niveau des selles de l'armature de 1,5 mm<sup>2</sup> qui permet d'assurer rigidité et stabilité de la prothèse (58).

**Crochets :**  
épaisseur  
minimale de 2  
mm (épaisseur) x  
3 mm (hauteur)

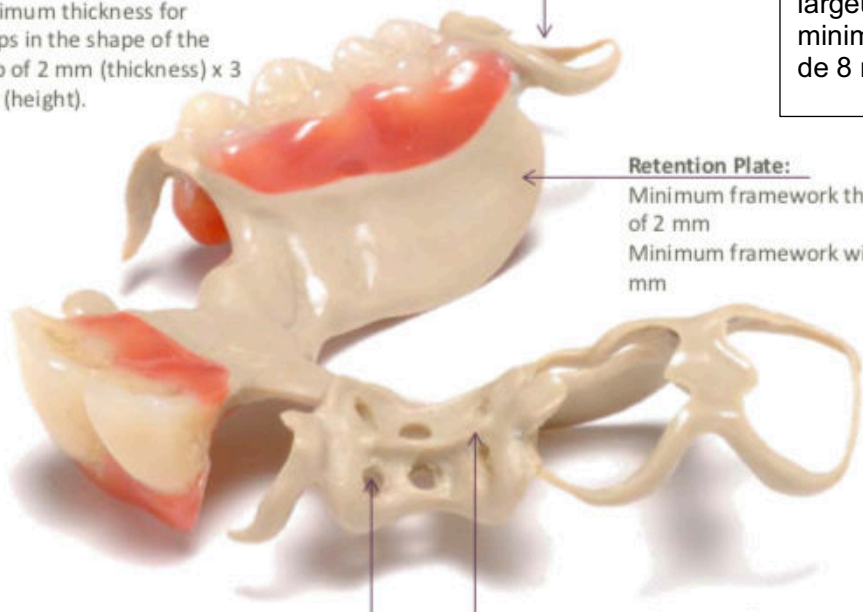
**Armature :**  
épaisseur  
minimale  
de 2 mm et  
largeur  
minimale  
de 8 mm

**Clasps:**

Minimum thickness for clasps in the shape of the drop of 2 mm (thickness) x 3 mm (height).

**Retention Plate:**

Minimum framework thickness of 2 mm  
Minimum framework width of 8 mm



**Retention Plate Holes:**

Maximum hole diameter of 2 mm  
Minimum distance between hole and external plate wall of 1 mm  
Minimum distance between adjacent holes of 2 mm

**T-Shape Reinforcement:**

Required to provide strength and stability.  
Minimum diameter: 1.5 mm<sup>2</sup>

**Trous de rétention :**  
diamètre maximal des trous de 2 mm. Distance maximale des trous du bord externe de la selle de 1 mm. Distance minimale entre 2 trous de 2 mm

**Renfort en T :** diamètre de 1,5 mm<sup>2</sup>. Requis pour la stabilité et la résistance

Figure 32 : Indications pour la réalisation d'une prothèse amovible partielle d'après la fiche technique Juvora ® (59).

B Picart et coll ont réalisé la comparaison de châssis mandibulaires en PMMA (polyméthylméthacrylate), en Chrome Cobalt et en PEEK sur un modèle en plâtre strictement identique.

Afin de répondre au cahier des charges du fabricant, le tracé du châssis en PEEK a été épaissi pour éviter qu'il ne soit trop souple et donc sujet aux distorsions et déformations.

L'ensemble des éléments du châssis sont épaissis ; le bandeau lingual mesure 2mm d'épaisseur et 8mm de hauteur, les composants des crochets (bras de calage, de rétention, taquet d'appui et potence) mesurent 2mm d'épaisseur minimum et 3mm de hauteur. Les renforts en « T » sur les selles prothétiques n'ont pas été réalisés (8).



Figure 33 : Comparaison d'un châssis en PEEK non épaissi à gauche et d'un châssis en PEEK épaissi à droite sur un modèle identique, B Picart et coll. (8).



Figure 34: Comparaison d'un châssis en Chrome Cobalt à gauche et d'un châssis épaissi en PEEK à droite sur un modèle identique, B Picart et coll. (8).

Certains fabricants préconisent de ne pas réaliser d'armature de type barre linguale due à la flexibilité du matériau et de préférer une armature de type bandeau linguale. La barre linguale serait trop flexible et sujette aux distorsions et déformations.

Zoidis et coll. ont suivi cette recommandation lors de leur cas clinique en 2015. La patiente présente un édentement bilatéral postérieur, c'est-à-dire de type classe I de

Kennedy avec une réhabilitation prothétique amovible à armature métallique en Chrome Cobalt.

L'armature métallique initiale de type barre linguale est remplacée par un bandeau lingual en PEEK modifié BioHPP® afin d'obtenir une armature « plus rigide » pour éviter les distorsions du châssis. Les bras de rétentions des crochets ainsi que les appuis occlusaux ont également été épaissis (48).



Figure 35: Barre linguale métallique et bandeau lingual en PEEK modifié BioHPP®, Zoïdis et coll. (48).

La réalisation d'un bandeau lingual est préférable à la barre linguale pour les châssis mandibulaires. La technique de la barre linguale est réalisable mais elle doit respecter les critères stricts de réalisation décrit dans les fiches techniques des fabricants.

La réalisation des taquets d'appuis de 2 mm d'épaisseur sur les châssis en PEEK impose la réalisation de logettes d'appui sur les dents supports de crochets.

Ces logettes d'appuis sont plus profondes que si le châssis est en Chrome Cobalt.

En effet, la section minimale d'épaisseur de l'armature en chrome Cobalt est de 1 mm.

La logette d'appui mesure conventionnellement 1/3 de la face mésio distale d'une prémolaire ou 1/4 de la face mésio distale d'une molaire soit 1 à 2 mm de profondeur.

Les logettes d'appuis pour une armature en PEEK doivent être réalisées afin que l'armature mesure 2 mm d'épaisseur minimum, elles seront donc plus traumatiques pour les dents supports de crochets.

### **7.3 La fabrication d'un châssis en PEEK**

#### **7.3.1 La Conception et Fabrication par Ordinateur : CFAO**

La réalisation d'un châssis en PEEK est possible grâce à la CFAO, c'est-à-dire la conception et la fabrication assistées par ordinateur.

La CFAO se déroule en trois grandes étapes successives :

- L'acquisition / La numérisation par un scanner
- Conception virtuelle du châssis par CAO (conception assistée par ordinateur)
- Réalisation du châssis par FAO (fabrication assistée par ordinateur)



La CFAO peut être de différents types :

**La CFAO directe :**

**Empreinte optique intrabuccale → CAO au cabinet dentaire → FAO au cabinet dentaire**

**La CFAO semi-directe :**

**Empreinte optique intrabuccale → CAO au laboratoire de prothèse → FAO au laboratoire de prothèse**

**La CFAO indirecte :**

**Empreinte physico chimique manuelle → CAO au laboratoire de prothèse → FAO au laboratoire de prothèse**

Figure 36 : Différents protocoles de CFAO d'après Normand D et Petit E (60).

La réalisation d'un châssis en PEEK se réalise par CFAO indirecte. Les empreintes sont réalisées au sein du cabinet dentaire et la conception et la réalisation de la prothèse ont lieu au laboratoire de prothèse.

Deux grands types de fabrication par ordinateur sont possibles :

- La méthode soustractive
- La méthode additive

La méthode additive est le prototypage qui permet de créer par addition soit des éléments calcinables destinés à la fonderie, soit des éléments métalliques grâce au frittage laser. La méthode soustractive, également appelée usinage permet de réaliser dans des disques de différentes épaisseurs des maquettes en cire ou résine destinées à la fonderie ou directement du métal ou du PEEK.

Le PEEK respecte la méthode de fabrication par ordinateur par méthode soustractive appelée usinage. Les disques de PEEK d'épaisseurs variables sont alors usinés dans l'usineuse selon le modèle préalablement conçu.



Figure 37 : Disques de PEEK OPTIMA Juvora ® brut à gauche et usiné à droite (59).

### **7.3.2 Les étapes de réalisation**

L'ensemble des traitements pré-prothétiques sont réalisés. Si nécessaires, les préparations des surfaces dentaires sont effectuées. Elles sont appelées améloplasties ou coronoplasties. Les logettes d'appuis sont également réalisées.

#### **7.3.2.1 Les empreintes**

La réalisation traditionnelle de la prothèse amovible partielle nécessite des étapes d'empreinte physiques :

- Une empreinte statique appelée empreinte primaire qui permet la réalisation d'un porte empreinte individuel adapté à la situation clinique.
- Une empreinte anatomo fonctionnelle appelée empreinte secondaire réalisée à l'aide du porte empreinte individuel.

A l'heure actuelle, les techniques d'empreinte optique permettent d'enregistrer des édentements encastrés de classe III de Kennedy de faible étendue qui ne nécessitent pas d'enregistrer les limites fonctionnelles du jeu musculaire. En effet, la numérisation optique ne permet pas d'enregistrer une empreinte anatomo fonctionnelle.

Il est possible de réaliser une empreinte optique primaire muco statique afin de réaliser un porte empreinte individuel. L'empreinte secondaire anatomo fonctionnelle sera réalisée de façon physique classique.

Une ou plusieurs d'étapes d'empreintes conventionnelles sont donc nécessaires afin de permettre la réalisation d'une prothèse amovible grâce à la CFAO.

### **7.3.2.2 Enregistrement de la relation intermaxillaire**

La relation intermaxillaire est enregistrée grâce à des bases d'occlusion conçues sur les modèles secondaires.

### **7.3.2.3 La numérisation**

La numérisation permet de transférer les données tridimensionnelles d'un objet en données informatiques. L'objectif est d'obtenir le positionnement spatial (coordonnées x, y et z) de chaque point d'un objet. La numérisation s'effectue avec un scanner optique tridimensionnel à haute précision.

La numérisation peut se faire sur trois types de structures différentes :

- *Soit directement en bouche en numérisant les tissus dentaires et les tissus environnants (très limité en prothèse amovible partielle) ; empreinte optique.*
- Soit indirectement sur l'empreinte secondaire non coulée, c'est à dire une empreinte surfacique négative.
- Ou encore indirectement sur le modèle secondaire coulé en positif.

La numérisation permet l'obtention un modèle virtuel. Il est également appelé modèle numérique. Le fichier de numérisation est de type STL.

#### 7.3.2.4 La Conception Assistée par Ordinateur du châssis

Le modèle peut être préparé afin d'obtenir le modèle numérique de travail (comblement des contres dépouilles, choix de l'axe d'insertion et tracé des lignes guide). Lorsque le modèle numérique de travail est obtenu, il est importé dans le logiciel de CAO et la conception du châssis peut commencer.

Les différents éléments constituant le châssis sont mis en place grâce à une bibliothèque de préformes et le tracé prospectif de l'armature est réalisé élément par élément. C'est l'étape de modélisation du châssis. Elle permet une visualisation précise de la future prothèse.

Lorsque la conception du châssis est terminée, le fichier STL est exporté dans le logiciel de Fabrication Assistée par Ordinateur.

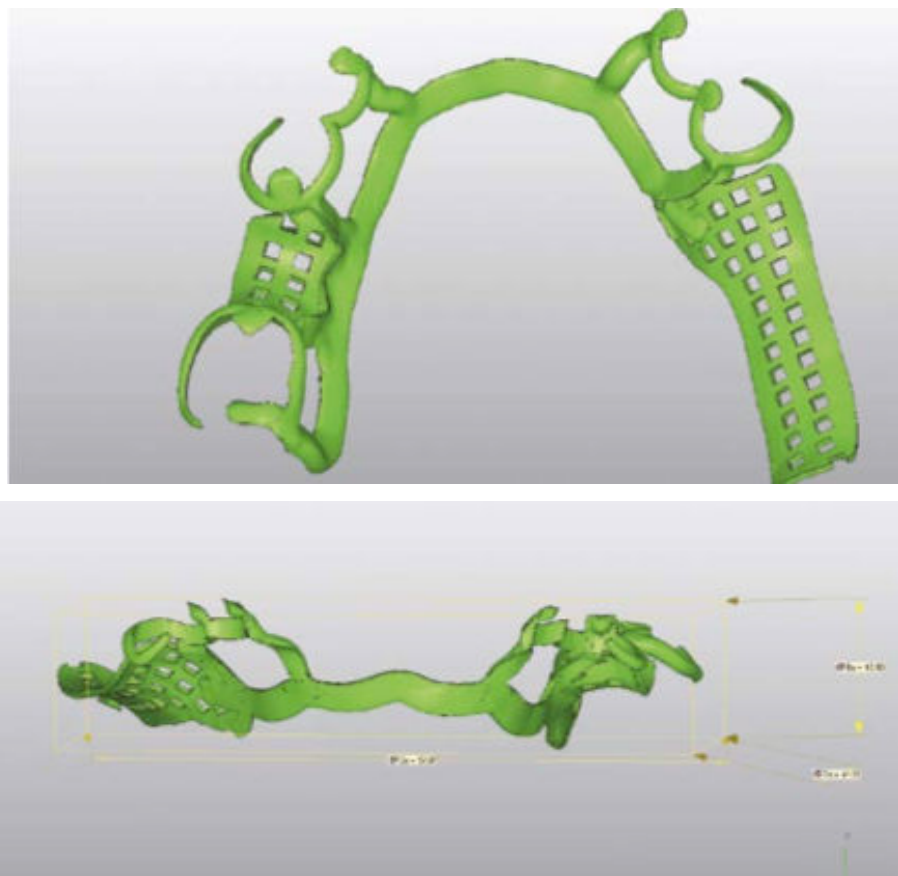


Figure 38 : Visualisation de la maquette numérique du châssis mandibulaire en PEEK par B Picart et coll. (8).

### 7.3.2.5 La Fabrication Assistée par Ordinateur

Le logiciel de fabrication transmet les informations à une machine appelée usineuse. Cette machine permet d'usiner dans des disques bruts ; elle permet une gestion des matériaux, une gestion des usinages, une traçabilité des fabrications et un placement automatique des fichiers à usiner dans le disque.

Les paramètres d'usinage sont choisis : la position du châssis au sein du disque brut de PEEK et la localisation de tiges de fabrication (parties qui relient le châssis au disque de PEEK). Ensuite le fichier de fabrication est envoyé à l'usineuse.



Figure 39 : Visualisation de la fabrication assistée par ordinateur du châssis en PEEK mandibulaire avec le logiciel Opera ® par B Picart et coll. (8).

L'usinage s'effectue grâce à une fraise qui peut se positionner dans différents axes (3 à 5 axes différents selon les usineuses). Le PEEK nécessite d'être usiné avec lubrification (huile/eau). En effet, l'échauffement du matériau par le fraisage peut provoquer sa déformation car il est thermoplastique.



Figure 40 : Châssis mandibulaire usiné au sein du disque de PEEK, vue de dessus à gauche et vue de dessous à droite par B Picart et coll. (8).

Les tiges de fabrication sont éliminées afin de libérer le châssis du disque de PEEK à l'aide d'un moteur et d'une fraise. Le châssis en PEEK est terminé. Il ne nécessite pas de traitement post usinage. Certains fabricants conseillent un léger polissage avec une pâte à polir à granulométrie fine non abrasive et des brosettes en coton (54).



Figure 41: Châssis en PEEK mandibulaire et essai du châssis en PEEK sur le modèle de travail en plâtre à par B Picart et coll. (8).

### **7.3.2.6 Montage des dents de la prothèse amovible partielle**

Lorsque le châssis en PEEK est terminé et validé par un essayage. Le montage des dents est réalisé. Un essayage du châssis avec dents sur cire est effectué et validé. La mise en moufle est effectuée au sein du laboratoire et le praticien peut livrer la prothèse amovible partielle. La rétention de la résine est permise grâce à l'adhésion mécanique avec le châssis en PEEK.

### **7.3.2.7 Livraison de la prothèse amovible partielle**

Les retouches de l'armature en PEEK peuvent être réalisées au sein du cabinet à l'aide d'une fraise résine. Les crochets en PEEK nécessitent une adaptation parfaite à l'anatomie dentaire, ils ne peuvent pas être activés dû à la flexibilité du matériau. Selon différentes études, ils sont moins rétentifs que les crochets métalliques mais ils permettent une utilisation clinique satisfaisante. La flexibilité du matériau permet d'éviter la fatigue et la déformation des crochets et de devoir les resserrer (45)(51)(50).

### **7.3.2.8 Coloration superficielle du PEEK**

Selon certains fabricants, le PEEK peut être coloré superficiellement en respectant un protocole précis. Ce maquillage permet d'améliorer l'esthétique du PEEK notamment au niveau des crochets de l'armature. Des études supplémentaires sont nécessaires concernant ce type de

Le protocole est le suivant :

- Effectuer un sablage léger à 2 bars, avec du bioxyde d'aluminium de 50 microns.
- Eliminer les résidus du sablage à l'aide de la vapeur.
- Utiliser un primer composé à base d'acétate d'éthyle afin de favoriser l'adhésion (ex: *Lux Clea*).
- A l'aide d'un pinceau, enduire la surface d'une couche fine de laque photosensible (ex: *Acelux*).
  - Effectuer la polymérisation.
  - Mixer les pigments jusqu'à obtention de la couleur choisie.
  - Enduire la surface de la laque pigmentée et photopolymériser.

- Une fois la coloration complétée, étendre une autre couche de protection et photopolymériser.

La coloration effectuée avec des laques photosensibles peut comporter l'adhésion de plaque bactérienne. Ces laques peuvent s'user dans le temps et donner lieu à une surface non lisse (54).

### ***7.3.2.9 Conseils d'entretien et d'utilisation***

Les conseils d'entretien et d'utilisation à fournir aux patients selon les fabricants de PEEK Optima® sont les suivants :

- Procéder au nettoyage de la prothèse avec des produits d'hygiène orale. Éviter l'utilisation des produits destinés aux prothèses en résines acryliques ou métalliques.
- Des altérations de couleurs du châssis sont possibles au contact prolongé du carotène.
- La prothèse est invisible aux rayons X.
- Rincer la prothèse à l'eau froide.
- Le produit est inflammable.
- Arrêter le port de prothèse en cas de suspicion d'allergie (54).



Tableau récapitulatif des indications d'un châssis en PEEK

<b>Les allergies</b>	<b>Avérées</b> → Le PEEK grâce à sa biocompatibilité exceptionnelle est une alternative aux métaux pour la réalisation de prothèse amovible partielle chez les patients allergiques aux métaux.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Au Nickel</li> <li>- Au Titane</li> <li>- Au Chrome</li> <li>- Au Cobalt</li> </ul>
	<b>Les risques allergiques</b> → Le PEEK grâce à sa biocompatibilité exceptionnelle permet la réalisation d'une prothèse amovible partielle chez des patients susceptibles de développer une allergie aux métaux.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patients avec un lichen plan ou des lésions lichénoïdes</li> <li>- Patients présentant des dermatites</li> </ul>
<b>L'électro galvanisme</b> → Le PEEK permet d'éviter de multiplier les métaux au sein de la cavité orale afin d'éviter les phénomènes de corrosion.		
<b>Les axes dentaires divergents</b> → Le PEEK permet d'éviter certaines préparations coronaires pré-prothétiques grâce à sa flexibilité. Il permet de respecter le principe d'économie tissulaire.		
<b>Les patients à risque parodontal</b> → Le PEEK permet de diminuer les forces scoliodontiques exercées sur les dents supports de crochets et ainsi évite les complications parodontales sur celles-ci.		
<b>Les attentes des patients</b>	<b>L'esthétique</b> → Le PEEK permet d'éviter l'aspect métallique de la prothèse mais la teinte du matériau reste éloignée de celle des dents naturelles.	
	<b>Le poids léger du châssis</b> → Le PEEK présente une légèreté intrinsèque et permet un meilleur confort du patient que les prothèses amovibles classiques.	
	<b>La rétention</b> → Le châssis en PEEK permet une rétention clinique suffisante et ne présente pas de baisse de rétention (fatigue) au cours de son utilisation.	

## 8 Conclusion

Le domaine des biomatériaux a connu des évolutions techniques majeures au cours des dernières années. Les chirurgiens-dentistes ont ainsi à leur disposition de nouveaux matériaux dans leur arsenal thérapeutique afin de répondre à des indications et des situations spécifiques.

Le PEEK, très largement utilisé en chirurgie orthopédique, connaît un véritable essor dans le domaine dentaire. Ses propriétés mécaniques proches de l'os cortical, sa biocompatibilité exceptionnelle en font un matériau de choix pour la réalisation de châssis de prothèse amovible partielle.

C'est un matériau alternatif au Chrome Cobalt pour les patients présentant des allergies aux métaux ; des risques de développer de l'électrolyse ; un risque parodontal ou des attentes spécifiques sur l'esthétique, le confort, le poids de leur future prothèse.

La conception et la réalisation d'un châssis en PEEK nécessite de prendre en compte les propriétés du matériau et notamment sa flexibilité. Les éléments du châssis devront alors être épaissis afin de permettre la solidité de la prothèse et d'éviter les distorsions et déformations du châssis.

Une étude précise des recommandations d'utilisation des fabricants par les chirurgiens-dentistes et les prothésistes dentaires semble nécessaire afin de réaliser une prothèse amovible pérenne.

La réalisation du châssis en PEEK est permise grâce à la CFAO indirecte par technique soustractive également appelée usinage. Elle permet la facilité de la conception et de la fabrication grâce à l'assistance par ordinateur.

Le PEEK est un matériau d'avenir dans le domaine dentaire, des études supplémentaires sont nécessaires afin d'observer son comportement au fil du temps au sein de la cavité orale.

Les matériaux utilisés pour les dispositifs médicaux et notamment les prothèses dentaires sont un sujet au cœur des préoccupations actuelles de notre société. Un éveil des consciences sur les matériaux, leurs propriétés et leur impact sur notre santé est en cours.

En 2018, des recherches ont conclu au potentiel cancérigène du Cobalt. Le Cobalt métallique est concerné par une procédure de classification harmonisée en substance CMR (Cancérogènes, Mutagènes ou toxiques pour la Reproduction) de type 1B dans la réglementation CLP (*règlement CE n° 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et mélanges*).

Dans ce contexte, l'utilisation du cobalt pourrait être interdite dès la mise en application du règlement (UE) 2017/745, le 26 mai 2020, pour les dispositifs invasifs et entrant en contact direct avec le corps humain. Cette interdiction concernera alors de nombreux dispositifs médicaux dont les prothèses dentaires et notamment les prothèses amovibles partielles à châssis métallique.

L'alternative d'un biomatériau inerte et hautement biocompatible telle que le PEEK serait alors une solution de remplacement des substances métalliques potentiellement cancérigène telle que le Cobalt (61)

## Table des illustrations

Figure 1 : Disques de PEEK usinables JUVORA® (couleur blanche et couleur naturelle) (4).....	15
Figure 2 : Schéma d'un polymère.....	16
Figure 3 : Les différents types de polymères utilisée en industrie, d'après B Jacquot (1).....	17
Figure 4 : Structure amorphe d'un polymère à gauche appelée pelote statique et structure semi-cristalline lamellaire d'un polymère à droite, T Borgnia (6).....	18
Figure 5 : La pyramide des matériaux thermoplastiques actuels et la place des PAEKs d'après B Gobert (7) et B Picart (8).....	19
Figure 6 : Molécules chimiques du PEEK et du PEKK, Nicolas Longiéras (9).....	20
Figure 7 : Structure du PEEK et du PEKK à différentes échelles d'après F.Boyer (10).....	21
Figure 8 : Tableau réalisé à partir des données techniques sur les plastiques techniques de Licharz (20).....	25
Figure 9 : Tableau modifié des propriétés mécaniques du PEKK et du PEEK en comparaison avec les matériaux utilisée en prothèse et en implantologie dentaire d'après B Jacquot (1).....	26
Figure 10 : Tableau réalisé à partir des données techniques sur les plastiques techniques de Licharz (20).....	28
Figure 11 : Cage inter vertébrale en PEEK et plaque crânienne en PEEK, Patrick Renard (24).....	30
Figure 12 : Chéilite exfoliative en regard d'un implant dentaire en Titane chez une patiente âgée de 41 ans. Les allergies aux métaux ont été confirmées par des patch-tests, Pigatto et coll (34).....	36
Figure 13 : Test épicutané positif au Cobalt, M Crépy (30).....	37
Figure 14 : Schéma de la pile et de la création d'un courant électrique.....	40
Figure 15 : Tableau réalisé à partir des données de la Classification des matériaux dentaires selon leur résistance à la corrosion d'après Claire Manaranche (43).....	41
Figure 16 : Test de l'insertion du châssis en Chrome Cobalt à gauche et du châssis épaissi en PEEK à droite, B Picart et coll. (8).....	44
Figure 17 : Test de la désinsertion du châssis en Chrome Cobalt à gauche et du châssis épaissi en PEEK à droite, B Picart et coll. (8).....	44
Figure 18 : Réalisation d'un châssis en PEEK sur un modèle maxillaire avec des axes dentaires divergents d'après J Hosten (46).....	46
Figure 19 : Pesées des châssis mandibulaire en Chrome Cobalt à gauche et en PEEK à droite, B Picart et coll. (8).....	47
Figure 20 : Pesée comparative des châssis de prothèse amovible partielle en chrome cobalt et en BioHPP®, P Zoïdis (48).....	48
Figure 21 : Photographies intrabuccales du châssis en Chrome Cobalt à gauche et du châssis en PEEK à droite, P Zoïdis (48).....	49
Figure 22 : Types d'armature maxillaire de gauche à droite : la plaque étroite, la plaque large, la plaque à recouvrement complet et la plaque en U, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).....	54
Figure 23: Types d'armature maxillaire de gauche à droite : la plaque à recouvrement complet, la simple entretoise palatine et la double entretoise palatine, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).....	54

Figure 24 : Type d'armature mandibulaire : la barre linguale associée à une barre cingulo-coronaire, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).....	55
Figure 25: Types d'armature mandibulaire : à gauche bandeau lingual et à droite entretoise cingulaire, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).....	55
Figure 26 : Différents composants d'un crochet d'après R Lepan (56).....	56
Figure 27: Tracé des indices biologiques positifs maxillaires, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57). .....	57
Figure 28 : Tracé des indices biologiques négatifs maxillaires, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57). .....	57
Figure 29 : Tracé des indices biologiques positifs mandibulaires, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57) . .....	58
Figure 30 : Tracé des indices biologiques négatifs mandibulaires, sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57). .....	58
Figure 31: A gauche, choix des appuis directs et matérialisation des axes de rotation en bleu ; à droite choix des appuis indirects et matérialisation des axes de rotation en rouge d'après la sous-section de prothèse de l'Université de Lille (57).....	59
Figure 32 : Indications pour la réalisation d'une prothèse amovible partielle d'après la fiche technique Juvora ® (59). .....	61
Figure 33 : Comparaison d'un châssis en PEEK non épaissi à gauche et d'un châssis en PEEK épaissi à droite sur un modèle identique, B Picart et coll. (8).....	62
Figure 34: Comparaison d'un châssis en Chrome Cobalt à gauche et d'un châssis épaissi en PEEK à droite sur un modèle identique, B Picart et coll. (8).....	62
Figure 35: Barre linguale métallique et bandeau lingual en PEEK modifié BioHPP®, Zoïdis et coll. (48). .....	63
Figure 36 : Différents protocoles de CFAO d'après Normand D et Petit E (60).....	65
Figure 37 : Disques de PEEK OPTIMA Juvora ® brut à gauche et usiné à droite (59). .....	66
Figure 38 : Visualisation de la maquette numérique du châssis mandibulaire en PEEK par B Picart et coll. (8). .....	68
Figure 39 : Visualisation de la fabrication assistée par ordinateur du châssis en PEEK mandibulaire avec le logiciel Opera ® par B Picart et coll. (8).....	69
Figure 40 : Châssis mandibulaire usiné au sein du disque de PEEK, vue de dessus à gauche et vue de dessous à droite par B Picart et coll. (8).....	70
Figure 41: Châssis en PEEK mandibulaire et essayage du châssis en PEEK sur le modèle de travail en plâtre à par B Picart et coll. (8). .....	70



## Références bibliographiques

1. Jacquot B. Le PEEK et le PEKK : des polymères thermoplastiques hautes performances en odontologie. *Biomatériaux Clin.* mars 2017;(1):6-10.
2. Villoutreix J, Acetarin J-D. Polyétheréthercétone (PEEK). Avril 1998.
3. Kurtz SM, Devine JN. PEEK Biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. *J Biomater.* 2007;28:4845-9.
4. Brochure de produit Juvora PEEK [Internet]. [cité 23 janv 2019]. Disponible sur : [https://juvoradental.com/~/\\_media/academy-resource-library/fr/juvora\\_product\\_brochure\\_ce\\_vs\\_fr.pdf](https://juvoradental.com/~/_media/academy-resource-library/fr/juvora_product_brochure_ce_vs_fr.pdf)
5. Catalogue Ceralog. 2017.
6. Borgnia T. Etude des propriétés de composites à matrice thermoplastique thermostable au-delà de leur température de transition vitreuse. Université de Pau et des Pays de l'Adour; 2017.
7. Gobert B. C'est quoi le PEKK ? *Technol Dent.* 2014;12/13(324):8-11.
8. B Picart, J Margerit, M Fages, E Lambert, E.M Chansavang, R Suvairan, et al. PEEK vs Cr-Co : comparaison de deux types de de châssis de prothèse amovible partielle. *Strat Prothétique.* juin 2016;16(3):205–2014.
9. Longiéras N. *Innov'Days. Les plastiques très techniques.* 2012.
10. Boyer F. Développement de nanocomposites et composites de fibres de carbone/PEEK/nanotubes de carbones : caractérisations mécanique et lectrique. Université de Toulouse;2013.
11. Black J. *Biological Performance of Materials: Fundamentals of Biocompatibility, Fourth Edition.* CRC Press; 2005. 528.
12. Jeffrey M. Toth. *Biocompatibility of Polyaryletheretherketone Polymers - PEEK Biomaterials Handbook - Chapter 7.* Elsevier. 2012.
13. D.F Williams,, A. McNamara. Potential of polyetherethereketone (PEEK) and carbon-fibre-reinforced PEEK in medical applications. *J Mater Sci Lett.* 1987;6:188-90.
14. Jockish K, Brown S, Bauer T, Merrit K. Biological response to chopped-carbon-fiber-reinforced PEEK. *J BioMed Mater.* 1992;26:133-46.
15. Angela M.Rust- Dawicki, Stephen D. Cook, PhD. Preliminary Evaluation of Titanium-Coated PEEK Implants. *J Oral Implantol.* 1995;21:176-81.
16. Rivard Charles-H, Rhalmi Souad, Coillard Christine. In vivo biocompatibility testing of

peek polymer for a spinal implant system: A study in rabbits. *J Biomed Mater Res.* 30 août 2002;62(4):488–498.

17. Wenz K, Merrit K, Brown S, Moet A, Steffee A. In vitro biocompatibility of polyetheretherketone and polysulfone composite. *J Biomed Mater Res.* 1992;24:207-15.

18. Morrison C, Macnair R, MacDonald C, Wykman a, Goldie I, Grand M. In vitro biocompatibility testing of polymers for orthopaedic implants using cultured fibroblasts and osteoblasts. *Biomaterials.* 1995;16:987-92.

19. Ma R, Tang T. Current Strategies to Improve the Bioactivity of PEEK. *Int J Mol Sci.* mars 2014;15(4):5426-45.

20. Licharz. *Plastiques techniques.* 2017. 51.

21. Skinner HB. Composite Technology for Total Hip Arthroplasty: *Clin Orthop.* oct 1988;(235):224-236.

22. Michaud Chailly. LE PEEK [Internet]. [cité 5 nov 2018]. Disponible sur: <https://www.michaud-chailly.fr/custom/images/rtf/peek-polyetherethercetone-pdf-peek-lmod1.pdf>

23. Citak M, Kendoff D, Wanich T, Look V, Stuber V, Gerling J. The influence of metal artifacts on navigation and the reduction of artifacts by the use of polyether-ether-ketone. *Comput Aided Surg* 2008;13:233–9.

24. Renard P. Le PEEK-Optima se démocratise dans les implants rachidiens chinois [Internet]. *DeviceMed.fr.* 2016 [cité 5 nov 2018]. Disponible sur: <https://www.devicemed.fr/dossiers/materiaux/materiaux-plastiques/le-peek-optima-se-democratise-dans-les-implants-rachidiens-chinois/5765>

25. Beaufile S, Pierron P, Millet P. L'allergie aux alliages dentaires non précieux : données de la littérature et solutions actuelles. *Actual Odonto-Stomatol.* avr 2016;(275):5.

26. Marya K, Dua J. Polyetheretherketone PEEK dental Implants: A case for immediate Loading. *Int J Oral Implantol Clin Res.* mai 2011;2(2):97-103.

27. Costa-Palau S, Torrents-Nicolas J, Brufau de Barbera M, Cabratosa-Termes J. Use of polyetheretherketone in the fabrication of a maxillary obturator prosthesis: A clinical report. *J Prosthet Dent.* 1 sept 2014;112(3):680–682.

28. Crépy M. Dermatoses professionnelles allergiques aux métaux. Documents pour le médecin du travail. Première partie : allergie de contact au nickel. 2010.

29. Ahlström MG, Thyssen JP, Menné T, Johansen JD. Prevalence of nickel allergy in Europe following the EU Nickel Directive - a review. *Contact Dermatitis.* oct 2017;77(4):193-200.

30. Crépy M. Dermatoses professionnelles allergiques aux métaux. Documents pour le médecin du travail .Troisième partie : allergie de contact au cobalt. 2011.



31. Thyssen JP, Linneberg A, Menné T. Contact allergy to allergens of the TRUE-test (panels 1 and 2) has decreased modestly in the general population. *Br J Dermatol.* 2009;161:1124-9.
32. Sicilia A, Cuesta S, Coma G, Arregui I, Guisasola C, Ruiz E, et al. Titanium allergy in dental implant patients: a clinical study on 1500 consecutive patients. *Clin Oral Implants Res.* août 2008;19(8):823-35.
33. Müller K, Valentine-Thon E. Hypersensitivity to titanium: clinical and laboratory evidence. *Neuro Endocrinol Lett.* déc 2006;27 Suppl 1:31-5.
34. Pigatto PD, Berti E, Spadari F, Bombeccari GP, Guzzi G. Exfoliative cheilitis associated with titanium dental implants and mercury amalgam. *J Dermatol Case Rep.* 2011;5(4):89-90.
35. Collège d'enseignants de Dermatologie de France. Les tests cutanés allergologiques. *Cours Séméiologie.* 2011.
36. Le test de transformation lymphocytaire (TTL) ou test de prolifération lymphocytaire (TPL) - Article de revue - INRS [Internet]. [cité 3 déc 2018]. Disponible sur: <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TC%20104>
37. Scalf L. Dental metal allergy in patients with oral, cutaneous, and genital lichenoid reactions. *Am J Contact Dermat.* sept 2001;12(3):146-50.
38. Uter W, Rämisch C, Aberer W, Ayala F, Balato A, Beliauskienė A, et al. The European baseline series in 10 European Countries, 2005/2006 - Results of the European Surveillance System on Contact Allergies (ESSCA). *Contact Dermatitis.* juill 2009;61(1):31-8.
39. Krob HA, Fleischer AB, D'Agostino R, Haverstock CL, Feldman S. Prevalence and relevance of contact dermatitis allergens: a meta-analysis of 15 years of published T.R.U.E. test data. *J Am Acad Dermatol.* sept 2004;51(3):349-53.
40. Maldonado-Naranjo AL, Healy AT, Kalfas IH. Polyetheretherketone (PEEK) intervertebral cage as a cause of chronic systemic allergy: a case report. *Spine J.* 1 juill 2015;15(7):e1-3.
41. Grogogeat B, Colon P. La corrosion. *Société francophone de biomatériaux dentaires.* 2010.
42. Danze JM. Les alliages métalliques utilisés en dentisterie. *Le Monde Dent.* 114. Oct 2002.
43. Manaranche C, Hornberger H. A proposal for the classification of dental alloys according to their resistance to corrosion. *Dent Mater.* nov 2007;23(11):1428-37.
44. Campbell SD, Cooper L, Craddock H. Removable partial dentures: The clinical need for innovation. *J Prosthet Dent.* 2017 Sep;118(3):273-280
45. Tannous F, Steiner M, Shahin R, Kern M. Retentive forces and fatigue resistance of

thermoplastic resin clasps. Dent Mater. mars 2012;28(3):273-8.

46. Hosten J. Prothèse adjointe partielle en PEEK avec MIMESIS. Technol Dent. juin 2017

47. Koyama S, Sasaki K, Yokoyama M, Sasaki T, Hanawa S. Evaluation of factors affecting the continuing use and patient satisfaction with removable partial dentures over 5 years. J Prosthodont Res. 1 avr 2010;54(2):97-101.

48. Zoidis P, Papathanasiou I, Polyzois G. The Use of a Modified Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK) as an Alternative Framework Material for Removable Dental Prostheses. A Clinical Report: High Performance Polymer as Alternative RDP Framework Material. J Prosthodont. oct 2016;25(7):580-4.

49. Sato Y, Abe Y, Yuasa Y, Akagawa Y. Effect of friction coefficient on Akers clasp retention. J Prosthet Dent. juill 1997;78(1):22-7.

50. Frank RP, Nicholls JI. A study of the flexibility of wrought wire clasps. J Prosthet Dent. mars 1981;45(3):259-67.

51. Ghani F, Mahood M. A laboratory examination of the behaviour of cast cobalt-chromium clasps. J Oral Rehabil. mai 1990;17(3):229-37.

52. Kim D, Park C, Yi Y, Cho L. Comparison of cast Ti-Ni alloy clasp retention with conventional removable partial denture clasps. J Prosthet Dent. avr 2004;91(4):374-82.

53. Peek Juvora [Internet]. [cité 6 avr 2019].  
Disponible sur: [https://www.henryschein.fr/laboratoire/le-produit-du-mois/peek-juvora.aspx?sc\\_lang=fr-fr&hssc=1](https://www.henryschein.fr/laboratoire/le-produit-du-mois/peek-juvora.aspx?sc_lang=fr-fr&hssc=1)

54. Opera System. Notice d'utilisation PEEK.

55. Batarec É. Lexique des termes de prothèse dentaire. Cahiers de prothèses ; 1997.

56. Lepad R. De l'enseignement de la prothèse amovible partielle métallique en travaux pratiques de PCEO3 : Elaboration de fiches pédagogiques. Faculté de chirurgie dentaire de Lille; 2014.

57. Section de prothèse de la faculté de chirurgie dentaire de Lille. Documents universitaires de la sous-section de prothèse de l'université de Lille.

58. Juvora Processing Guide EU market Guide de transformation du disque dentaire Juvora®.

59. Disque de matériau PEEK Juvora. [Internet]. [cité 10 mars 2019].  
Disponible sur: [https://juvoradental.com/~/\\_media/academy-resource-library/fr/juvora-dental-disc-material-safety-data-sheet-natural-vs-fr.pdf](https://juvoradental.com/~/_media/academy-resource-library/fr/juvora-dental-disc-material-safety-data-sheet-natural-vs-fr.pdf)

60. Extraction / Implantation. Mise en esthétique immédiate en CFAO : à propos d'un nouveau protocole. Le fil dent. 2015

61. La fin programmée des prothèses de genou en Chrome Cobalt (CrCo) ? [Internet].

DeviceMed.fr. 2018 [cité 7 avr 2019].

Disponible sur: <https://www.devicemed.fr/dossiers/reglementation/la-fin-programmee-des-protheses-de-genou-en-chrome-cobalt-crco/17507>



**Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année [2019] – N°:**

Les prothèses amovibles partielles en PEEK. / **DUCHATEAU Camille.**- p. (85) : ill. (41) ; réf. (61).

**Domaines** : Prothèse ; Matériaux.

**Mots clés Rameau**: Prothèses dentaires partielles amovibles ; CFAO, systèmes de ; Impression 3D ; Thermoplastiques

**Mots clés FMeSH**: Prothèse dentaire partielle amovible ; Conception assistée par ordinateur ; Impression tridimensionnelle ; Polymères

**Mots clés libres** : PEEK, Polyétheréthercétone, ; Châssis de prothèse dentaire amovible

Résumé de la thèse :

La prothèse amovible partielle à châssis métallique est une option de traitement encore très utilisée malgré l'essor des techniques implantaires. Le châssis en chrome cobalt appelé stellite est actuellement la prothèse partielle de référence.

La recherche de matériaux novateurs a conduit à l'utilisation du PEEK dans le domaine médical et dentaire grâce à sa biocompatibilité exceptionnelle et ses propriétés mécaniques proches de celles de l'os cortical.

Le PEEK est un matériau alternatif aux métaux dans la conception des prothèses amovibles partielles. Il est indiqué dans les cas d'allergies ou de risque allergique aux métaux. Il permet l'obtention d'une prothèse légère et plus confortable.

La conception du châssis en PEEK nécessite des adaptations dû à la flexibilité du matériau. Le châssis en PEEK sera usiné grâce à la CFAO, c'est-à-dire la conception et fabrication assistées par ordinateur.

**JURY** :

**Président** : Monsieur le Professeur Pascal BEHIN

**Assesseurs** : Monsieur le Docteur Thierry DELCAMBRE  
Monsieur le Docteur Claude LEFEVRE  
Monsieur le Docteur Corentin DENIS