**Les classes des matériaux utilisés en médecine**

**I.1. Les biomatériaux**

Les biomatériaux sont utilisés en médecine. Ils regroupent différentes classes de biomatériaux comme les métaux, les céramiques, les verres, les polymères et les différents composites. Le domaine de la science des biomatériaux est très vaste et s’étend au-delà du *génie tissulaire*.

**Les grandes familles des matériaux**

 Les polymères

 Les alliages métalliques

 Les céramiques et verres

 Les composites

Une définition simplifiée est donnée par *le consensus* de Chester en 1991 :

***« Les biomatériaux sont des matériaux destinés à être en contact avec les tissus vivants et/ou les fluides biologiques pour évaluer, traiter, modifier les formes ou remplace tout tissu, organe ou fonction du corps ».***

La perte ou le disfonctionnement d’un organe ou d’un tissu sont parmi les problèmes de santé publique les plus dévastateurs et coûteux**.** Les biomatériaux ont été développés pour préserver l’intégrité et le confort de vie des personnes souffrant de déficiences fonctionnelles ou victimes de blessures ou de brûlures.

Depuis les dispositifs médicaux à usage unique jusqu’aux prothèses implantées, une grande variété de produits implique l’utilisation de biomatériaux.

Ils se différencient des médicaments par le fait qu’ils n’ont pas d’objectifs thérapeutiques principal par un effet chimique à l’intérieur de l’organisme et n’ont pas besoin d’être métabolisés pour être actifs.

Le « *génie tissulaire* » implique donc l’utilisation des "*scaffolds*", littéralement «*échafaudage*» en anglais, qui sont des architectures sophistiquées tridimensionnelles, formant des motifs précis. Un «*scaffold*» doit satisfaire les critères suivants:

**(1)** il doit être hautement poreux avec des pores interconnectés et présentant une taille appropriée afin de favoriser l’intégration et la vascularisation du nouveau tissu, la diffusion des nutriments et l’évacuation des déchets,

**(2)** il doit être construit à partir de matériaux biocompatibles et dont la biodégradabilité est contrôlée,

**(3)** il doit favoriser l’adhésion, la prolifération et la différentiation cellulaire,

**(4)** il doit assurer à la fois le rôle de support mécanique lors de la transplantation et le rôle de la trame temporaire mimant la matrice extracellulaire des cellules afin de guider la reconstruction tissulaire,

**(5)** il ne doit pas induire une réponse inflammatoire,

et

**(6)** il doit être facilement modulable en forme et en taille.

Parmi les polymères naturels utilisés dans le génie tissulaire, les hydrogels à base de biopolymères, comme l’alginate et le chitosan, sont particulièrement attractifs. En effet, ils présentent une structure proche de celle des macromolécules composant les tissus humains, une faible cytotoxicité, une bonne biocompatibilité et un coût relativement bas

**I.2. Les hydrogels dans le génie tissulaire**

L’hydrogel est une forme physique très opportune pour la fabrication :

- de matériaux destinés aux systèmes à libération de drogues,

- des lentilles de contacts,

- des organes artificiels,

- des cartilages synthétiques,

- des revêtements des cathéters et aux traitements des plaies**.**

**I.3. Les polymères biodégradables**

Le terme de biodégradation peut regrouper des définitions assez larges. Et il est inutile de dire que les produits de dégradation d’un matériau biodégradable doivent être biocompatibles.

**I.3.1. Les polymères biodégradables naturels**

Ce sont des matériaux synthétisés par les êtres vivants : végétaux, animaux et micro-organismes.

1. **Les polysaccharides :**

Les polysaccharides sont une forme de glucides appelés aussi sucres, glucanes ou polyosides ; ils sont formés par la condensation d'unités glucidiques**.**

Une fois hydratés dans un environnement aqueux, ils créent la structure «gel» appelé hydrogel. Par ailleurs, les polysaccharides réticulés sont aussi utilisés pour le revêtement et/ou l'enrobage des substances médicinales actives ou encore dans des compositions des drogues**.**

* **La cellulose :**

La cellulose est le biopolymère naturel le plus abondant. C’est le constituant principal des différentes fibres naturelles comme le coton

La cellulose est un hydrogel tridimensionnel hydrophile capable d'absorber et de créer des liaisons polaires avec les molécules d'eau par ses fonctions hydroxyles.

Ce matériau très réticulé est semi-cristallin. Il se caractérise par une certaine proportion de cristallites au sein d'une masse amorphe. Sa stabilité est assurée par des liaisons hydrogènes inter- et intramoléculaires.



**Figure 1.** Représentation de la chaîne de cellulose**.**

* **La carraghénane :**

C’est une substance gélatineuse. La carraghénane est un polysaccharide hétérogène extrait de certaines algues rouges de la famille des *Rhodophyceae***.** Elle est obtenue par traitement thermique en milieu alcalin, filtrée, précipitée dans l'alcool avant d'être récupérée sous forme de poudre.

Les espèces présentes dans le commerce sont les λ-, les К- et les τ-carraghénanes (**Figure I.2)**.

****

**Figure 2.** Motif de répétition idéal de λ-carraghénanes

* **L’amidon :**

L'amidon est un polysaccharide d'origine végétale **(Figure I.3)**. C'est la principale substance glucidique des tissus photosynthétiques.

C’est un polymère du glucose C6H10O5, composé de deux homopolymères de structures primaires différentes: l'amylose, macromolécule quasiment linéaire et l'amylopectine, macromolécule très fortement ramifiée.

****

**Figure 3.** La structure de l’amidon**.**

* **La chitine et le chitosan**

Une autre famille de polysaccharides très fréquemment utilisée est celle constituée par la chitine et le chitosan. La source principale de ces polymères est la carapace des crustacés qui subit pour ce faire une déprotéinisation suivie d’une déminéralisation. Ces biopolymères sont très utilisés dans le domaine biomédical notamment comme peau artificielle, fils de suture biorésorbables ou encore lentilles de contact.



**Figure 4.** Formule de structure de la chitine.

1. **Les protéines :**

Ce sont des polymères organiques résultant de la condensation d’acides aminés par formation de liaisons peptidiques. Les acides aminés constitutifs sont appelés résidus. Le radical R présent sur le résidu est appelé chaîne alkyle.

* **Le collagène**

Le collagène est considéré comme un échafaudage biocompatible car la protéine est la composante principale de la matrice extracellulaire et des échafaudages multiples à base de collagène sont actuellement disponibles pour utilisation clinique, en particulier pour l'application dans les tissus mous comme la peau. Le collagène a été largement appliqué dans le domaine de l'ingénierie tissulaire et dans une certaine mesure dans les systèmes de livraison.

Les éponges de collagène ont été déjà utilisées comme agents hémostatiques, *scaffolds* pour la réparation tissulaire et pour promotion de la croissance cellulaire. Très récemment, des *scaffolds* nanocomposites en collagène et hydroxyapatite ont permis la guérison de défauts critiques in vivo (fémur de souris Wistar et tibia de porcs).

* **La Gélatine**

C’est une protéine d’origine animale et/ou végétale dont l’usage est de nos jours est largement répandu dans les industries agroalimentaires, pharmaceutiques et médicales en raison de sa biodégradabilité et sa biocompatibilité dans les environnements physiologiques.

**I.3.2. Les polymères biodégradables synthétiques**

Parmi les biopolymères synthétiques, on peut citer :

Les polyesters aliphatiques, le poly(acide lactique) , les polyorthoesters , les polyamides, les polyaminoacides , les polyphosphazenes , les polyuréthanes , les polyanhydrides et les polyethylèneglycol.

* **Les polyesters aliphatiques**

Les polyesters sont fortement développés dans les applications biomédicales notamment comme biomatériau ou matériau biocompatible**.**

* **Le poly(acide lactique)**

Le poly(acide lactique), aussi dénommé polylactide, est un polyester aliphatique connu pour sa biodégradabilité et sa biocompatibilité, et peut être considéré comme biopolymère car il est obtenu au départ de l’acide lactique, lui-même étant issu de la fermentation de saccharide.

Le PLA est utilisé comme peau artificielle, fils de sutures biorésorbables, implants orthopédiques ou encore systèmes à libération contrôlée de médicaments.

* **Polyphosphazenes**

Ils sont largement utilisés comme des matrices pour des applications dans l’administration de médicaments. La biocompatibilité de ces polymères fait une application de choix en génie tissulaire. Récemment, Ils sont utilisés en association avec d’autre composants pour la construction de petits vaisseaux sanguins (For construction of small blood vessels) et la régénération de l’os (bone tissue ingeneering).



* **Polyuréthanes**

Les polyuréthanes occupent une place privilégiée dans le domaine des polymères, en raison à la fois de leur nature et de leurs applications. Exemple : **Les implants mammaires en polyuréthane** :

Les **prothèses mammaires** en **polyuréthane** ont été développées. Ce sont des **implants mammaires** constitués d’un gel en **silicone** cohésif recouvert d’une enveloppe en mousse de **polyuréthane**. La couche externe de **polyuréthane** de **l’implant mammaire** va déclencher au niveau des tissus du **sein.**

* **Polyéthylène glycol**
* **Les polycarbonates**
* **Polyanhydrides**
* **Polyamides et polyaminoacides**

**I.4. Les céramiques**

L’utilisation de **matériaux céramiques** pour la prothèse dentaire a permis d’améliorer les qualités esthétiques des restaurations prothétiques. Ces matériaux ne cessent d’évoluer depuis leur apparition dans le domaine odontologique.

**Ils sont utilisés** pour la fabrication de dents massives, pour la prothèse amovible, pour l’émaillage d’armatures métalliques, en pellicules pour des restaurations collées de types facettes.

**Définitions :** « **Elément solide, inorganique et non métallique** »

Les céramiques sont des **matériaux inorganiques** composés **d’oxydes**, de **carbures**, de **nitrures** et de **borures**. Elles présentent des liaisons chimiques fortes de nature ioniques ou covalentes.

**Porcelaine :** céramique contenant de l’argile sous forme de kaolin (aluminosilicate hydraté) et du feldspath (aluminosilicate).

**Céramique dentaire :** composée à 99% d’oxydes mis en forme par frittage en phase liquide ou solide. Pour la plupart, elles ont une structure biphasée de verre chargé (une phase vitreuse et une phase cristalline). Ce sont des matériaux fragiles.

**-Verre :** composé minéral fabriqué à base de silice, qui possède une structure vitreuse désordonnée car constituée d’atomes de dimensions très différentes. Il est mis en forme par frittage et possède une grande stabilité chimique car ses atomes constitutifs sont unis par des liaisons chimiques fortes, covalentes ou ioniques. Cette propriété leur confère une très bonne biocompatibilité. Les verres sont des matériaux fragiles.

* Les systèmes utilisés en dentisterie sont pour la plupart des verres chargés en plus ou moins grande quantité par une phase cristalline.

**- Céramique vitreuse** : verre aluminosilicate alcalin.

Pour qualifier les systèmes céramiques modernes, il faut les classifié selon les différentes propriétés des céramiques à savoir: la nature chimique et microstructurale du matériau céramique

**– En fonction de la nature chimique du matériau**

1. **Les céramiques feldspathiques**

Ces céramiques sont traditionnellement utilisées pour l’émaillage des couronnes céramo-métalliques. L’adjonction de leucite (feldspathoïde : KAlSi2O6) dans leur composition **augmente leur résistance mécanique** mais aussi **leur coefficient de dilatation thermique** (C.D.T.), ce qui empêche l’utilisation d’une chape métallique. On utilise alors ces matériaux pour des restaurations tout céramiques.

**b) Les céramiques alumineuses**

Ces céramiques comprennent une proportion importante d’alumine (Al2O3) dont le rôle est **d’augmenter les propriétés mécaniques** du produit. Il existe, en fonction des concentrations massiques en alumine : la « Jacket » de MacLean 40%.

**c) Les vitrocéramiques**

Ce sont des matériaux mis en forme à l’état de verres qui subissent un traitement thermique de cristallisation volontaire, contrôlé et partiel. Ils comportent des matériaux de nature chimique différente. Par exemple : du micatetrafluorosilicate : DICOR®.

**d) Les matériaux en évolution**

La volonté de réaliser des restaurations postérieures plurales tout céramiques a mené à améliorer les propriétés mécaniques de certains produits.

L’ajout de zircone (ZrO2) améliore les propriétés mécaniques. L’ajout de magnésium (Mg) **améliore la résistance et la translucidité** (spinelle).

Les prothèses dentaires ont pour but le remplacement d’éléments dentaires absents. Cette substitution de la dent naturelle doit se faire en tenant compte de critères esthétiques, fonctionnels mais aussi de **biocompatibilité et d’innocuité.**

 En effet, l’élément de remplacement, qu’il soit fixe ou amovible, doit permettre de supporter des **contraintes masticatoires répétées**, il doit s’intégrer au **sourire du patient,** il ne doit pas entrainer de réaction **allergique ou irritative**, et, surtout, il ne doit pas avoir **d’effet délétère sur les dents naturelles** adjacentes ou antagonistes, ni sur les éléments de l’environnements buccal : muqueuse, os, articulations.

**TYPES DE PROTHÈSES**

**Les prothèses complètes amovibles**

La prothèse complète amovible, communément appelée dentier, est un appareil de remplacement des dents naturelles. On dit complet parce que la prothèse remplace la totalité des dents, soit de la mâchoire supérieure pour un dentier du haut, soit de la mâchoire inférieure pour un dentier du bas.

Le terme amovible signifie que la prothèse peut être retirée de la bouche pour son entretien quotidien ou tout simplement pour dormir. Les prothèses sont composées de dents en résine acrylique ou, comme par le passé, en porcelaine. Les dents imitent évidemment les dents naturelles, mais il y a aussi de l’acrylique rose pour imiter les gencives. Les techniciens dentaires fabriquent les prothèses complètes amovibles à partir des mesures, des empreintes et de l’ordonnance provenant d’un dentiste.

**Les prothèses partielles amovibles**

La prothèse partielle, en comparaison avec la prothèse complète (dentier), est un appareil permettant de remplacer une ou plusieurs dents dans le but d’améliorer la phonétique, la mastication, ainsi que l’esthétique.

Les techniciens dentaires fabriquent les prothèses partielles amovibles à partir des mesures, des empreintes et de l’ordonnance provenant d’un dentiste. Le partiel est fait en partie de plastique (les dents et la gencive) et d’une structure de métal qui permet, avec des crochets, de maintenir le partiel bien en place dans la bouche du patient.

**Couronne:**

Lorsqu’une dent est cassée, qu’elle ne comporte plus suffisamment de structure dentaire naturelle saine pour supporter une résine composite ou un amalgame (à cause d’une carie par exemple) ou qu’elle est dévitalisée suite à un traitement de canal, on procède généralement à la fabrication d’une couronne.

La couronne est une restauration qui recouvrira entièrement la dent qui la supporte. Dans le cas d’un traitement de canal, quand la structure naturelle visible de la dent est détruite, la fabrication d’un [pivot](http://www.ottdq.com/protheses.php) (ancré dans la racine) sera nécessaire dans le but de soutenir la couronne. La couronne est une restauration fixe, c’est-à-dire qu’elle est collée en bouche. Comme on ne remplace qu’une ou quelques dents avec une couronne et que cette dernière est cimentée en permanence en bouche, on parle alors de prothèse partielle fixe. Par opposition, un dentier est une prothèse complète amovible.

**Trois méthodes sont principalement utilisées pour la fabrication d’une couronne :**

La méthode **[céramo](http://www.ottdq.com/protheses.php)**[**-métallique**](http://www.ottdq.com/protheses.php), la méthode **[céramo](http://www.ottdq.com/protheses.php)**[**-céramique**](http://www.ottdq.com/protheses.php) et la restauration de [**résine composite**](http://www.ottdq.com/protheses.php)**.**

Chacune de ces méthodes a ses exigences et répond à des besoins particuliers en termes de fonctionnalité, d’esthétique et de résistance. On peut également ajouter qu’il se fait encore des couronnes complètement en or jaune pour les dents postérieures. Ce type de couronne a l’avantage d’être très solide, et de ne pas user indûment les dents naturelles du maxillaire opposé. C’est une solution intéressante lorsque l'esthétique n'est pas en jeu.

Pour réaliser une couronne, le dentiste doit d'abord « préparer » la dent qui la recevra. Pour se faire, on doit réduire par meulage la dimension de cette dent afin de créer un espace suffisant pour permettre l’obtention d'une couronne à l'aspect naturel.  Une fois la dent réduite, le dentiste prend une empreinte de cette préparation qui sera ensuite transformée en un modèle de travail par le prothésiste dentaire.  À partir des différents modèles de travail, le prothésiste dentaire peut alors procéder à la fabrication de la couronne. Pour obtenir une couronne harmonieusement agencée à la dentition naturelle, le technicien dentaire travaille en collaboration avec le dentiste afin de faire une sélection adéquate de la couleur de la dent. Ils utiliseront différents outils : guides de couleur, photographie (argentique ou numérique), numériseur de teintes. Toutes les données recueillies seront inscrites dans le dossier du patient.

**Céramo-Métallique**:

La couronne céramo-métallique, comme le dit son nom, est composée de deux matériaux de base : un alliage de métaux et un’ céramique dentaire. L'alliage sert de base (squelette métallique) afin de supporter la céramique qui le recouvrira. Le terme « porcelaine » est parfois également utilisé pour parler de la céramique dentaire. La méthode céramo-métallique est de loin la plus utilisée car elle possède une durée de vie très prolongée. Elle permet également de travailler dans certaines conditions plus difficiles où les autres techniques de fabrication sont à déconseiller. Pour réaliser la couronne céramo-métallique, on fabrique tout d'abord une structure métallique qui sera ensuite recouverte d'une succession de couches de céramiques conçues spécialement pour reproduire les teintes et la translucidité d'une dent naturelle.

**Céramo-Céramique :**

La couronne céramo-céramique est une couronne entièrement constituée de céramique, ce qui lui confère des caractéristiques de transmission de la lumière se rapprochant de la dentition naturelle. Comme pour la couronne céramo-métallique, le couronne céramo-céramique peut aussi être élaborée sur une sous-structure de support, mais cette dernière sera également de nature céramique. La couronne céramo-céramique est souvent plus esthétique, mais sera contre-indiquée si certains paramètres (occlusion, type de dent etc.) ne sont pas respectés.

**Résine Composite :**

La résine composite est utilisée sous forme de pâte qui doit être durcie avec une source lumineuse (photopolymérisation). C'est sensiblement le même matériau que celui utilisé par les dentistes pour la réalisation de « plombages blancs ». Tout comme ces fameux « plombages blancs », la couronne de composite a une durée de vie plus limitée que celle de la couronne de céramique.

Le composite nous permet d'atteindre un niveau esthétique comparable à la dentition naturelle.

**Pivot radiculaire, corps coulé :**

Lorsqu'une dent a dû subir un traitement de canal, on observe avec le temps un changement dans sa teinte (la dent devient plus foncée, plus grise). C'est à ce moment que l'option de fabriquer une couronne devient intéressante.

Avant de pouvoir procéder à la fabrication de la couronne, on doit fabriquer un pivot qui viendra s'asseoir dans la cavité créée par le traitement de canal. Ce même pivot pourra également tenir lieu de support pour la couronne qui suivra.

**I.5. Les métaux et alliages métalliques**

Le plus important par les volumes est sans doute l'acier inoxydable, encore largement utilisé en chirurgie orthopédique. L'intérêt de l'acier inoxydable dans ce domaine réside dans ses propriétés mécaniques. Il faut également mentionner particulièrement le titane, qui est utilisé principalement en chirurgie orthopédique et pour réaliser des implants dentaires. On le trouve également dans les stimulateurs cardiaques et les pompes implantables. L'un des avantages principaux du titane est sa bonne biocompatibilité : l'os adhère spontanément au titane. Les alliages à mémoire de forme sont une variante intéressante de cette catégorie. On utilise également des alliages cobalt, chrome, molybdène, du tantale, etc.

Les principaux problèmes mal résolus avec les métaux et alliages métalliques sont les suivants:

 • corrosion électrochimique et durabilité, • mécanismes de dégradation non électrochimiques incluant les interactions protéine/métal, • réactions immunitaires et d'hypersensibilité,

• adaptation des propriétés mécaniques, • propriétés de frottements et problèmes de débris

Plusieurs métaux et alliages sont utilisés en prothèse dentaire. Ils permettent la réalisation de reconstitutions fixées unitaires ou plurales, d’armatures pour prothèse scellée recouverte de cosmétique ainsi que de châssis de prothèse amovible. L’éventail de choix de matériaux est large, allant du métal pur, par exemple le titane, à l’alliage de plusieurs métaux.

Ce large choix implique des différences notoires de comportement, il est donc nécessaire d’avoir une bonne connaissance des matériaux pour faire le meilleur choix en fonction de l’indication et du patient.

Les alliages peuvent se classer de différentes manières, mais la classification la plus utilisées est celle de l’American Dental Association (ADA). La classification ADA distingue 3 groupes d’alliages en fonction de leur composition :

*- les alliages « high noble » :* doivent contenir au moins 25% en masse d’or et au moins 60% de métaux nobles quels qu’ils soient (or, palladium, platine). La plupart des alliages d’or utilisés depuis les années 1970 se classent dans cette catégorie.

*-les alliages « nobles » :* doivent contenir au moins 25% de métal noble, sans minimum pour

l’or.

*-les alliages « base métal »* : contiennent moins de 25% de métal noble en pourcentage de masse, sans autre spécification concernant leur composition.

L’ADA a déterminé des symboles pour aider le praticien à déterminer à quelle catégorie un alliage donné appartient. Ce système de classification est plus universel que le classement précédent, remplacé en 1984, qui se basait sur les alliages à base d’or.

 **Exemples commerciaux**

***Alliages « High-Noble » :*** - V-Supragold®, Metalor Technologies (Au-Pt-Pd)

***Alliages « Noble » :*** - Pagalinor 2®, Metalor Technologies (Ag-Pd)

***Alliages non nobles :*** -Wiron 99®, Bego (Ni-Cr) - Magnum®, Mesa (Cr-Co)

***Titane :*** - Tritan®, Dentorum (Ti-Cp grade 1)

**Références :**

* Mjahed, H. (2009). *Caractérisation physico-chimique des films multicouches de polyélectrolytes à base de polysaccharides et de polypeptides en vue d’applications dans le domaine des biomatériaux* (Doctoral dissertation, Université de Strasbourg).
* Hutmacher, D. W. (2001). Scaffold design and fabrication technologies for engineering tissues—state of the art and future perspectives. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, *12*(1), 107-124.
* Béraud, J. (2001). *Le technicien d'analyses biologiques: guide théorique et pratique*. Éd. Tec & doc.
* Chetouani, A. (2011). *Développement dans le génie tissulaire d’un complexe polyionique à base de gélatine/carboxyméthylcellulose* (dissertation, Université Setif).
* Faucher, A. J., Pignoly, C., Koubi, G. F., & Brouillet, J. L. (2001). *Les dyschromies dentaires: de l'éclaircissement aux facettes céramiques*. Wolters Kluwer France.
* Degrange, M., Sadoun, M., & Heim, N. (1987). Les céramiques dentaire: les nouvelles céramiques. *J Biomater Dent*, *3*, 61-9.
* Poujade, J. M., Zerbib, C., & Serre, D. (2004). Céramiques dentaires. *EMC-Dentisterie*, *1*(2), 101-117.
* MATASA, C. G., & FLAGEUL, F. (2000). Tendances dans les biomatériaux orthodontiques: métaux et céramiques. *L'Orthodontie Française*, *71*(4), 335-341.
* Jordan, L., & Rocher, P. (2009). Les alliages Nickel-Titane (NiTi).