

Chapitre II

Les différents biomatériaux et leur utilisation

On distingue cinq grandes catégories de biomatériaux : 1) les matériaux d'origine naturelle; 2) les métaux et alliages métalliques; 3) les céramiques; 4) les polymères.

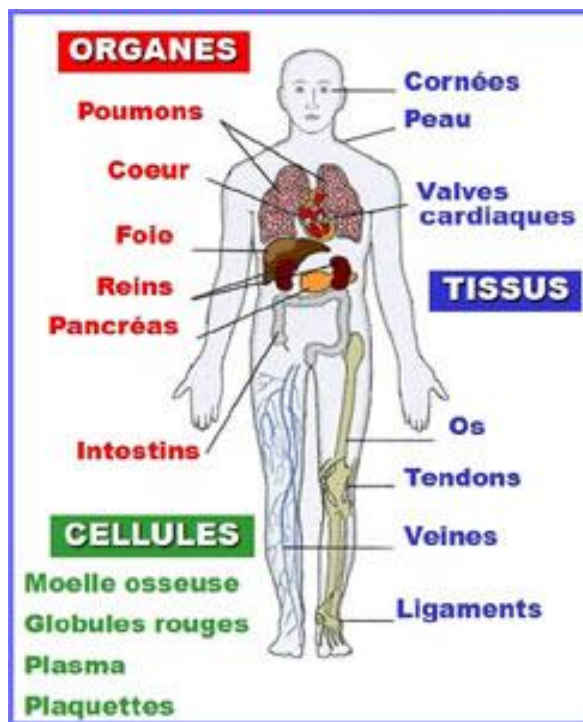
Les métaux et les polymères constituent la majeure partie des biomatériaux utilisés aujourd'hui.

II.1. Les matériaux d'origine naturelle

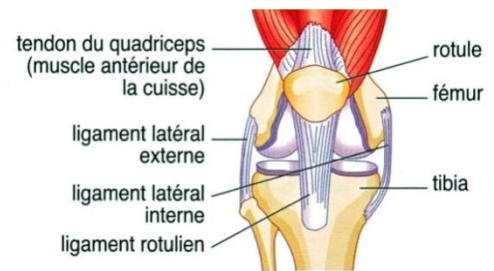
Le souci de biocompatibilité des matériaux a orienté les chercheurs vers des matériaux d'origine naturelle.

Les applications existantes de ces matériaux sont très nombreuses :

➤ **la greffe (transplantation)**: c'est le transfert sur un patient receveur d'un tissu ou d'un organe provenant du patient lui-même (autogreffe), ou d'un autre individu (le donneur) de même espèce (allogreffe), ou de deux espèces différentes proche génétiquement (hétérogreffe). Il est utilisé pour greffes vasculaires, cornée de l'œil, valves cardiaques, tendons et ligaments, etc.



Possibilités de greffes



Tendons et ligaments

➤ **Les polysaccharides :**

- ✓ **la cellulose** est un glucide complexe (polysaccharide) constituant principal des parois des cellules végétales. Elle est traditionnellement utilisée pour les membranes de dialyse.
- ✓ **la chitine** est, après la cellulose, le polysaccharide le plus répandu dans la nature. Sa structure ressemble à celle de la cellulose. C'est un copolymère qui est présenté naturellement sous forme cristalline ou sous forme de complexes chitino-protéiques. Ces principales sources sont les crustacés marins (Crabes, Crevettes, langoustines et Krill) et les insectes (Fourmis, Blattes et Coléoptères). Elle confère la rigidité et la résistance aux organiques qui en contiennent. Elle est biodégradable, biorésorbable et susceptible d'application pour les fils de suture, la chirurgie reconstructive et la peau artificielle.
- ✓ **les fucanes** sont des polysaccharides sulfatés extraits des algues brunes marines. Ils sont capables de promouvoir et d'accélérer la migration et la prolifération des cellules ostéoblastiques, ainsi que d'amélioration des capacités ostéoinductrices. Ils sont des produits de substitution et régénération osseuses, utilisés comme greffes et dispositifs implantables.

- **le corail naturel** est utilisé comme des substitut osseux, grâce à sa possibilité de recolonisation par les cellules osseuses. Il est composé à 99% de carbonate de calcium en phase cristalline. Il conserve après traitement thermique une structure poreuse (varie selon les espèces de coraux considérés) qui lui confère des propriétés ostéoinductrices.
- **Le collagène** est une substance protéique. Il s'agit de l'un des constituants fondamentaux du tissu conjonctif dans les vaisseaux sanguins, la peau, les articulations, les reins, les poumons et le cœur. Ainsi, le corps humain est composé d'environ 25% de collagène. Il est d'origine animale ou humaine. Il est susceptible d'application pour le remplacement tissulaire, cornée, cicatrisation...etc.

II.2. Les métaux et les alliages métalliques

Ils sont les premiers à avoir été utilisés pour fabriquer des implants. Ils sont très utilisés pour la conception de prothèses car ils possèdent de bonnes propriétés et de meilleure biocompatibilité. Les plus important sont :

- **les aciers inoxydables** (acier inox 316L, Co-Cr-Mo, Titane et Ti-6Al-4V) : utilisées en chirurgie orthopédique.
- **Le titane** : utilisé principalement en chirurgie orthopédique et en implantologie dentaire. On le trouve également dans les stimulateurs cardiaques et les pompes implantables.

Principales caractéristiques des alliages inoxydables utilisés en médecine

Alliage	Module d'élasticité (GPa)	Résistance en traction (MPa)	Densité (g/cm ³)
Acier 316L	190	590-1350	8,8
Co-Cr-Mo	210-250	650-1900	7,8
Ti-6Al-4V	116	960-1100	4,4
Titane	110	760	4,5

- **Les alliages à mémoire de forme (AMF)** : L'effet mémoire de forme repose sur l'existence d'une transformation de phase réversible entre un état structural haute température (austénite) et un état structural basse température (martensite). Elle se produit sur une plage de température assez restreinte (20 à 40°C) sans changement de volume. Donc, ils présentent des propriétés exceptionnelles dont :

- l'effet mémoire, c'est-à-dire la possibilité de retrouver une forme mémorisée par simple élévation de température à partir d'un état déformé à froid,
- l'effet super élastique autorisant des déformations purement élastiques 5 à 10 fois supérieures à tout autre alliage métallique.

Les plus connus sont : les alliages à base Ni-Ti (Nitinol), les alliages à base Cu-Zn-Al et les alliages à base Cu-Al-Ni.

Propriétés des AMF à base NiTi, CuZnAl et CuAlNi

Propriétés	Ni-Ti	Cu-Zn-Al	Cu-Al-Ni
Température de fusion (°C)	1250	1020	1050
Masse volumique (g/cm ³)	6,45	7,9	7,15
Module d'Young (GPa)	95	70-100	80-100
Allongement à rupture de la phase martensitique (%)	30-50	15	8-10
Température de transformation (°C)	-100/+110	-200/+110	-150/+200
Hystérésis (°C)	30	15	20
Température maximale (°C)	400	150	300
Nombre maximal de cycles thermiques	100 000	10 000	5 000
Résistance à la corrosion	Excellente	Acceptable	Bonne

Application de quelques métaux et alliages métalliques

Matériau	Domaine d'application
Aciers inoxydables	Pacemaker (électrodes), plaques et vis d'ostéosynthèse, agrafes diverses
Co-Cr-Mo	Implants articulaires, implants dentaires
Ti-6Al-4V	Implants articulaires, plaques et vis d'ostéosynthèse, pacemaker, implants dentaires, élément de chirurgie reconstructive
Nitinol (Ni-Ti)	Implants orthopédiques, stents, agrafes diverses, accolades

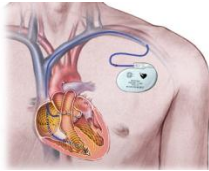


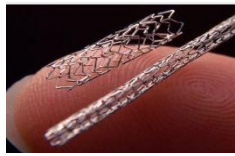
Schéma et électrodes de pacemaker



Plaques d'ostéosynthèse



Implants dentaires



Stents chaînés dans le vaisseau sanguin



Accolades

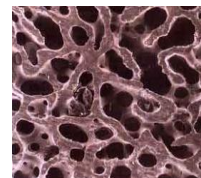
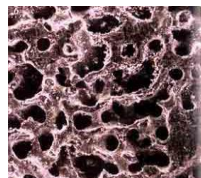
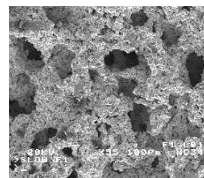


Agrafes

➤ **Les mousses métalliques** présentent les caractéristiques suivantes :

- ✓ porosité élevée (70%-85%);
- ✓ perméabilité (taille de pores entre 50 et 400µm);
- ✓ structures et propriétés similaires à celles des os;
- ✓ Favorisent l'intégration des implants;
- ✓ Servent de support à la croissance de tissus osseux;
- ✓ Permettent l'intégration de facteurs de croissance et de médicaments.

La structure, l'excellente résistance à la corrosion, la biocompatibilité et les propriétés mécaniques de ces mousses en font un matériau de choix pour la fabrication d'implants et de systèmes d'ancrage pour des applications orthopédiques (hanches, genoux, reconstruction osseuse, etc.) et dentaires de même que les composantes de dispositifs médicaux d'intervention et de diagnostic (instruments de laparoscopie, endoscopie, etc.). Les matériaux visés sont essentiellement le titane et ses alliages (CpTi, Ti6Al4V, TiNi), les aciers inoxydables et les alliages de Co-Cr-Mo. Les propriétés mécaniques des mousses de titane sont très similaires à celles des os poreux, comparativement à celles du titane solide qui est couramment utilisé en orthopédie et dentisterie. Cette caractéristique permet un meilleur transfert de charge entre l'os et l'implant et favorise une meilleure intégration de l'implant dans l'os.



Similarité de la mousse de titane et du corail à l'os spongieux

II.3. Les céramiques

Les céramiques se caractérisent par une température de fusion élevée, une rigidité, une légèreté, une résistance à la chaleur et à la corrosion, et une fragilité qui déterminent leurs domaines d'application. Elles incluent des oxydes (alumine et zircone), des carbures (silicium, tungstène), des borures, des nitrures, des sulfures et des composés intermétalliques. Dans le domaine des biomatériaux, on rencontre principalement :

➤ **Les céramiques bioinertes, L'alumine (Al_2O_3) et La zircone (ZrO_2)**, sont des matériaux stables dans le temps, très durs et très fragiles, de très grande pureté, de haute densité, de résistance en flexion très élevée, de faible usure, de faible coefficient de frottement, de très bonne tolérance, de bonne résistance à la corrosion in vivo, de grande durabilité, de mouillabilité élevée que celle des métaux et des polymères, ils possèdent une faible capacité de déformation et d'absorption des chocs, ils associent la plus haute esthétique et la plus haute biocompatibilité. Leur biocompatibilité et leurs caractéristiques mécaniques élevées font d'eux des éléments de prothèses orthopédiques (hanche, genou, épaule) et de prothèses dentaires (couronnes, bridges).

➤ **Les céramiques bioactives et biorésorbables**

✓ **Céramique de Phosphate de Calcium** sont parfaitement tolérées, fragiles et de faible résistance mécanique qui limitent leur utilisation isolée en cas de contrainte importante. Elles possèdent d'excellentes propriétés d'ostéoconduction et de meilleure colonisation (porosité proche de celle de l'os naturel). Leurs compositions chimiques très proches de celle de la phase minérale de l'os, leurs propriétés biologiques et leur biocompatibilité

en font d'excellents produits de substitution osseuse en chirurgie maxillo-faciale, neurochirurgie, odontologie et orthopédie. Les différents produits sont : le phosphate tricalcique β (β TCP), l'hydroxyapatite (HAP) et les produits biphasés (BPC).

✓ **Les bioverres $\text{SiO}_2\text{P}_2\text{O}_5\text{CaO Na}_2\text{O}$** développent à leur surface une couche d'hydroxyapatite cristallisée carbonatée similaire à la phase minérale de l'os, en les immergeant dans un fluide physiologique. Cette couche permet ainsi au matériau d'être utilisé comme implant osseux dans un organisme humain. La résorption de ce matériau est particulièrement lente. ils sont utilisés en chirurgie réparatrice dans de nombreuses parties du corps humain dont les osselets de l'oreille (marteau, enclume et étrier), les dents, les genoux, les hanches.

II.4. Les polymères

➤ **Les polymères thermoplastiques**

Les thermoplastiques peuvent être déformés plastiquement sous l'effet de la température. Ce phénomène est réversible et théoriquement répétable. Ils ont une température au-dessus de laquelle ils sont mous et déformables, et en-dessous de laquelle ils sont durs et fragiles. Cette température s'appelle température de transition vitreuse (T_g) et elle est différente pour chaque plastique. Parfois on ajoute des additifs (plastifiants) au plastique pour le rendre plus mou et plus déformable. La liaison entre les chaînes d'un thermoplastique est faible (changement d'état avec une élévation de température) alors que dans le cas d'un thermodurcissable, elle est forte et donc définitive. Parmi les thermoplastiques on trouve le polyéthylène(PE), le polypropylène(PP), le polystyrène (PS), le polychlorure de vinyle (PVC), le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), le polytétrafluoroéthylène (PTFE), le polyester (PET) et le polycarbonate (PC).

➤ **Les polymères thermodurcissables** ne peuvent pas être recyclés, car leur forme, conférée dans un moule selon un processus chimique, est définitive. Ils sont plus durs et plus rigides que les polymères thermoplastiques. Les principaux polymères thermodurcissables sont : les époxydes ; les phénoliques et les polyamides.

➤ **Les élastomères (caoutchoucs)** se caractérisent par leur grande déformabilité, avec par exemple des allongements réversibles jusqu'à 1000 % de leur longueur initiale. Les plus utilisés sont : la silicone et le Polyuréthane.

➤ **Les élastomères thermoplastiques** appartiennent à une nouvelle catégorie de polymères qui allient la déformabilité des élastomères à la recyclabilité des thermoplastiques.

Application de quelques polymères

	Matériau	Domaine d'application
Thermoplastiques	<i>Polyéthylène (PE)</i>	<i>Alèses, champs opératoires, vêtements de protection, tubulures (tubes, sondes, cathéters), sutures, implants vasculaires et orthopédiques.</i>
	<i>Polypropylène (PP)</i>	<i>Seringues jetables, tubes de cathéters, flacons de soluté, fils de suture, ligaments.</i>
	<i>Polychlorure de Vinyle (PVC)</i>	<i>Poches à sang, à urines, sondes, tubages, gants d'examen, champs opératoires.</i>
	<i>Polystyrène (PS)</i>	<i>Boîtes de Pétri.</i>
	<i>Polyester (polyéthylène téréphtalate : PET)</i>	<i>Sutures, implants vasculaires, valves cardiaques, support d'analyse, ligaments, chirurgie du tube digestif.</i>
	<i>Polytétrafluoroéthylène (PTFE : téflon)</i>	<i>Implants vasculaires, chirurgie faciale, Cathéters, siège de valves cardiaques.</i>
	<i>Polyméthacrylate de Méthyle (PMMA)</i>	<i>Lentilles de contact rigides, cristallins artificiels, prothèse dentaire, lentilles intraoculaires, ciment orthopédique.</i>
	<i>Polyamide (PA)</i>	<i>Cathéters, sondes, fils de suture.</i>
Elastomères	<i>Silicone (Polysiloxane)</i>	<i>Cathéters, sondes, drains, lentilles de contact souples, prothèse de chirurgie esthétique, pansements pour plaie profonde.</i>
	<i>Polyuréthane (PEU)</i>	<i>Orthèse, matelas, bandes, pacemaker (isolant), Urologie, implants mammaires, valves cardiaques.</i>