

Les biomatériaux métalliques : de l'industrie à la salle d'opération

par Julie Lévesque et Diego Mantovani

EN TANT QUE MÉDECIN, sauriez-vous rassurer un patient inquiet à la suite de l'implantation, dans son organisme, d'un corps étranger métallique? Peut-être que votre tâche serait plus facile en sachant que la plupart des matériaux utilisés aujourd'hui en implantologie ont d'abord été mis au point en vue d'applications industrielles, mieux connues par la majorité de gens. Grâce à des propriétés particulières, certains métaux et alliages ont pu faire le saut du côté des biomatériaux.

Quels sont les matériaux métalliques utilisés en médecine ?

Les matériaux métalliques peuvent être divisés en deux grandes classes, soit les métaux purs et les alliages. Le fait de mélanger les métaux pour produire des alliages permet d'améliorer leurs propriétés mécaniques ou chimiques. Le *tableau I* donne une vue globale, mais non exhaustive, des matériaux métalliques utilisés dans le corps humain, tandis que le *tableau II* en reprend les plus courants et les associe à leurs applications biomédicales et industrielles.

Mais pourquoi un matériau destiné, par exemple, à la fabrication de moteurs d'avions, se retrouve-t-il entre les mains d'un chirurgien? La principale qualité de tous les biomatériaux métalliques est leur excellente résistance à la corrosion. Le corps humain, et en particulier le sang, est un milieu très agressif pour les métaux. Tout d'abord à cause de la grande quantité d'ions de chlore en solution qu'il comporte et ensuite à cause de son pH bas, comparativement à la plupart des environnements industriels. Voici la raison pour laquelle il serait impensable d'implanter un acier ordinaire plutôt qu'un acier inoxydable, même si ces deux

M^{me} Julie Lévesque est finissante à la maîtrise en génie des matériaux à l'Université Laval et M. Diego Mantovani, Ph. D., est directeur du Laboratoire de bioingénierie et biomatériaux, Département de génie des matériaux et Unité de bioingénierie et biotechnologie, au Centre de recherche de l'Hôpital Saint-François-d'Assise, à Québec.

T A B L E A U I

Matériaux métalliques utilisés dans le corps humain (modifié à partir de¹)

Matériaux	Exemples
Métaux purs	Précieux <ul style="list-style-type: none"> ● Or ● Argent ● Platine
	Non précieux <ul style="list-style-type: none"> ● Titane ● Tantale ● Tungstène ● Niobium ● Cuivre
Alliages métalliques	Alliages de titane Nitinol (Ni-Ti) Chrome-cobalt Aciers inoxydables Alliages de palladium Amalgames Ag-Pb

matériaux possèdent à peu près les mêmes propriétés mécaniques. En effet, certains matériaux contiennent des éléments qui, s'ils étaient libérés en grande quantité dans l'organisme, pourraient provoquer des réactions inflammatoires et immunologiques non désirables. Nous présentons au *tableau II* les éléments contenus en quantité importante (> 1 %) dans les biomatériaux métalliques courants. Dans ces matériaux, les alliages de titane ont la meilleure résistance à la corrosion, suivis des alliages de cobalt-chrome et, finalement, des aciers inoxydables².

Viennent ensuite les propriétés mécaniques. L'or, par exemple, est un métal très résistant à la corrosion, mais sa rigidité est faible. Il ne peut donc pas être utilisé pour des applications orthopédiques, où il devrait supporter des contraintes importantes.

T A B L E A U II

Applications biomédicales et industrielles des matériaux métalliques le plus couramment employés en médecine

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

92

Les alliages et leurs propriétés

Les aciers inoxydables

La principale forme d'acier inoxydable utilisée en implantologie est le 316L, soit un acier inoxydable austénitique. Contrairement à plusieurs autres, cet acier n'est pas ferromagnétique, ce qui permet à des patients porteurs de ce type de matériau de se soumettre aux examens d'imagerie par résonance magnétique (IRM). Cet acier est très ductile, ce qui lui permet de se déformer fortement à froid, caractéristique particulièrement intéressante pour des dispositifs tels que les stents endocoronariens, qui sont déployés dans l'artère lors de l'implantation. Les aciers inoxydables sont aussi largement utilisés en orthopédie pour la fabrication de vis et de plaques de fixation, car leurs propriétés mécaniques sont appropriées.

Les alliages de cobalt-chrome

Ces matériaux sont commercialisés sous les noms de *Stellite®*, *Vitallium®*, *Dentitan®*, etc. Le principal avantage de ces alliages est leur grande résistance à l'usure. Cette caractéristique leur vaut d'être utilisés dans des applications où le frottement est important, comme les prothèses de la

hanche et les valves cardiaques. Cependant, leur coût est légèrement supérieur à celui des aciers inoxydables.

Les alliages de titane

D'utilisation plus récente, les alliages de titane possèdent une résistance à la corrosion exceptionnelle. Leur légèreté (4,3 g/cm³ pour le titane, comparativement à 7,9 g/cm³ pour l'acier) et leur grande résistance mécanique sont également des atouts majeurs. Leur utilisation est de plus en plus importante et ce, malgré leur coût élevé. Certains alliages spéciaux de titane, appelés *nitinol* (titane + 55 % de nickel), possèdent une propriété particulière, appelée « mémoire de forme ». Par un changement de température, qui entraîne une modification de la structure cristalline du matériau, l'implant peut changer de forme. Cette caractéristique permet, par exemple, de le déformer pour l'introduire dans un cathéter et de le voir reprendre sa forme, une fois mis en place (grâce au réchauffement du dispositif). Plusieurs travaux sur les applications biomédicales des alliages à mémoire de forme sont disponibles^{3,4}. Cependant, la résistance à l'abrasion des alliages de titane est limitée. Il est toutefois possible de traiter leur surface pour en augmenter la dureté.

Quels sont les dangers potentiels ?

Évidemment, l'introduction de corps étrangers dans l'organisme humain comporte certains dangers. Comme les métaux utilisés sont très résistants à la corrosion, le nombre d'ions métalliques libérés dans l'organisme est limité. Cependant, il a été démontré que des ions passent à travers la couche passive par diffusion et migrent dans les tissus environnants.

En 1993, l'*International Agency for Research on Cancer* (IARC) a établi une classification des métaux et composés métalliques sur le plan de leur cancérogénicité⁵. Selon cette classification, le nickel métallique et les composés de nickel, de même que le cobalt métallique, ont reçu une cote 2B, ce qui signifie qu'ils sont potentiellement cancérogènes. Or, l'acier inoxydable 316L a une concentration massique en nickel de 12 à 14 %, ce qui permet à l'acier de conserver sa structure austénitique (non ferromagnétique). Quant au nitinol, il en contient autour de 55 %. Les alliages de cobalt-chrome, comme leur nom l'indique, contiennent, quant à eux, une quantité importante de cobalt et, parfois, jusqu'à 10 % de nickel. Peut-on alors considérer que ces matériaux sont inoffensifs ? Même si leur utilisation massive nous a démontré leur sécurité à court terme, leurs effets à long

terme demeurent inconnus et imprévisibles, surtout dans le cas des implants cardiovasculaires.

Ces interrogations sont à la base de la recherche visant à mettre au point de nouveaux matériaux métalliques. Des aciers inoxydables sans nickel et à résistance améliorée à la corrosion sont d'ailleurs en voie d'élaboration. D'autres approches, comme l'utilisation de biomatériaux dégradables, et donc temporaires, sont également envisagées pour les applications qui le permettent. Finalement, des techniques de revêtement pourraient aussi inhiber ou ralentir la cinétique de dissolution des métaux dans l'organisme. ❧

Bibliographie

1. Grosgeat B, Brugirard J. Les essais de corrosion des biomatériaux : leurs usages, leurs limites, leurs fondements. *Matériaux et techniques* 2001 ; 5-6 : 15-28
2. Gotman I. Characteristics of metals used in implants. *J. Endourol* 1997 ; 11 (6) : 383-9.
3. El Feninat F, Fiset M, Laroche G, Mantovani D. Shape Memory Materials: Biomedical Applications. *Adv Mater Eng* 2002 ; 4 : 1-14.
4. Mantovani D. Shape memory alloys: Properties and biomedical applications. *JOM* 2000 ; 52 : 36-44.
5. Boffetta P. Carcinogenicity of trace elements with reference to evaluations made by the International Agency for Research on Cancer. *Scand J Work Environ Health* 1993 ; 19 (Suppl 1) : 67-70.