

Domaine d'étude : nouveaux matériaux

Mots-clefs : nanoparticules, matériaux nanostructurés,
céramiques, matériaux biocompatibles

CES MATÉRIAUX QUI RÉPARENT LE CORPS...

PREMIÈRE PARTIE : LES NANOMÉDICAMENTS

Les matériaux nanostructurés sont notamment utilisés dans le cadre des nanomédicaments. En particulier, les nanocapsules doivent être biocompatibles pour n'entraîner aucun rejet par l'organisme.

DOCUMENT I : LES NANOMATÉRIAUX

Les nanomatériaux sont constitués de nanoparticules, particules dont l'une des dimensions au moins est inférieure à 100 nm. On distingue les matériaux nanostructurés des nanocomposites.

Les matériaux nanostructurés peuvent l'être en surface (c'est le cas notamment des tissus présentant un revêtement de surface nanostructuré et présentant ainsi des propriétés antibactériennes ou antitaches) ou en volume (comme les nanopoudres).

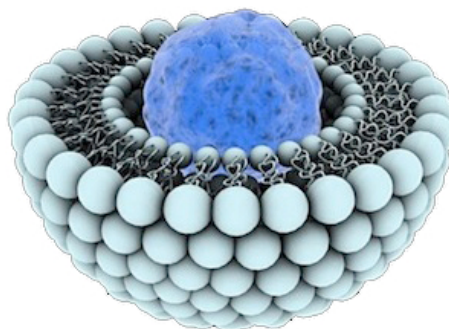
Les nanocomposites sont des matériaux constitués d'une matrice pouvant être en polymère, en métal ou en verre, à l'intérieur de laquelle sont insérés des nano-objets visant à conférer à la matrice de nouvelles propriétés.

DOCUMENT II : LES NANOCAPSULES

Les nanocapsules sont des sphères de taille nanométrique qui peuvent renfermer une substance chimique.

Les principales applications des nanocapsules se trouvent dans le domaine du textile (textiles innovants), des cosmétiques (crèmes, parfums) et de la médecine (délivrance contrôlée de médicaments, voir ci-contre).

➤
Schéma en coupe d'une nanoparticule (liposome) contenant un principe actif



DOCUMENT III : ACTION DES NANOMÉDICAMENTS

Contrairement à certains médicaments classiques, susceptibles d'être détruits par des enzymes du corps humain, les nanomédicaments, de par leur taille, pénètrent facilement dans l'organisme.

La biodégradation des capsules contenant les principes actifs ne pouvant se faire que dans des conditions chimiques particulières, on peut cibler le milieu biologique à atteindre par le traitement et ne traiter ainsi que les cellules qui en ont besoin.

La dose de médicaments à administrer est donc réduite, ce qui peut limiter les effets non souhaités et gênants. On peut également donner aux nanomédicaments une formulation plus spécifique qu'aux médicaments traditionnels, ce qui leur confère une action plus ciblée et efficace.

QUESTIONS SUR LA PREMIÈRE PARTIE :

1. Comment les nanocapsules sont-elles utilisées ?
2. Quel est le rôle des nanocapsules dans le cas des nanomédicaments ?
3. Comment les nanocapsules permettent-elles une délivrance contrôlée du médicament ?
4. En quoi les nanocapsules permettent-elles l'administration d'une dose réduite de principe actif et quel en est l'intérêt ?
5. Citer au moins trois caractéristiques que les nanocapsules utilisées dans le domaine pharmaceutique doivent présenter.

DEUXIÈME PARTIE : DES MATÉRIAUX QUI IMITENT LES MATÉRIAUX BIOLOGIQUES

Les céramiques sont des matériaux inorganiques et non métalliques qui peuvent avoir, après mise en forme par frittage, des propriétés physiques et chimiques très intéressantes.

DOCUMENT I : COMPOSITION CHIMIQUES DES CÉRAMIQUES

Les céramiques sont des matériaux inorganiques non métalliques. Leur cohésion est assurée par des liaisons covalentes et des liaisons ioniques très fortes, ce qui leur confère des températures de fusion très élevées, supérieures à 2000°C.

Elles peuvent être décomposées en deux familles : les oxydes (Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , TiO_2 , ...) et les non-oxydes (WC , Si_3N_4 , ...).

On peut les obtenir à partir de matière naturelles brutes (argiles, roches silicatées ou roches aluminosilicatées), naturelles purifiées ou synthétiques. La composition en matière première d'une céramique lui confère des propriétés physiques et chimiques particulières.

DOCUMENT II : LES BIOCÉRAMIQUES, UN ATOUT PRÉCIEUX POUR LA MÉDECINE

Les céramiques sont chimiquement neutres et, grâce à une composition proche de celle des tissus osseux, elles peuvent conserver leurs propriétés si on les implante dans un milieu très agressif comme l'organisme.

Leur nature très résistante (aux frottements ou aux torsions) permet aux prothèses qui en sont constituées d'être presque inusables.

La première génération de céramiques était inoffensive pour l'organisme qui les considérait toutefois encore comme des corps étrangers. Elle a donc fait place à une seconde génération de céramiques, capables d'interagir positivement avec les tissus environnants, favorisant ainsi la repousse osseuse et évitant les rejets.

Les prothèses dentaires constituent un exemple très usité de ces biocéramiques. Elles sont constituées de verre de silice (SiO_2) et d'alumine (Al_2O_3), un matériau dont l'aspect brillant et la neutralité chimique permettent de se rapprocher des propriétés de la dent naturelle.



Avant la pose d'un inlay

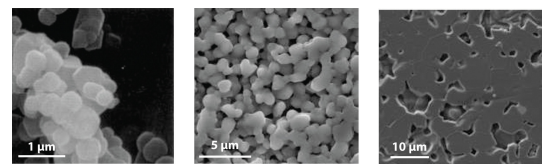


Après la pose d'un inlay

DOCUMENT III : MISE EN FORME ET PROPRIÉTÉS DES CÉRAMIQUES

Avant toute mise en forme, les céramiques sont à l'état de poudre. Pour leur donner une structure solide et les formes voulues, on utilise généralement le procédé de frittage : la poudre de céramique est pressée et chauffée, ce qui crée des liaisons entre les grains de poudre grâce à une fusion très localisée.

Les céramiques les plus performantes, appelées céramique thermomécaniques ou réfractaires, sont des céramiques industrielles qui résistent à de très hautes températures. Elles ont une résistance mécanique très élevée et sont plus légères que les métaux ou alliages habituellement utilisés. Pour les pièces sensibles de certains moteurs, par exemple, on utilise donc préférentiellement ce type de matériaux.



Avant frittage Après frittage (2h à 1250°C) Après frittage (4h à 1450°C)

Frittage d'une céramique



Pièces en céramique utilisées dans l'industrie automobile

DOCUMENT IV : PROTHÈSES OSSEUSE

« Implants et prothèses permettent de remplacer, partiellement ou totalement, des organes déficients. L'os est un bon exemple des progrès récents. Pendant longtemps, on a rabiboché les os cassés à l'aide d'implants en métal ou taillés dans une autre partie osseuse du patient. Désormais, 20% des greffes osseuses utilisent des matériaux artificiels : des céramiques en phosphate de calcium, de composition et de structure proches de celles de l'os. »



D'après X. MÜLLER, Journal du CNRS n°252-253, jan.-fév. 2011.

QUESTIONS SUR LA DEUXIÈME PARTIE :

1. Quelles sont les matières premières permettant de produire des céramiques ?
2. Quelle est la taille approximative d'un grain de poudre de céramique ?
3. Comment les céramiques sont-elles généralement mises en forme ?
4. À quelles contraintes un matériau doit-il satisfaire afin de pouvoir être implanté sans danger dans l'organisme ?
5. En quoi les céramiques répondent-elles à ces critères ?
6. Quel est l'intérêt d'utiliser des céramiques pour réparer un os endommagé par rapport à un greffon à base d'os naturel ? Par rapport à un implant métallique ?

TROISIÈME PARTIE : DES MATÉRIAUX BIOCOMPATIBLES

La biocompatibilité est la capacité d'un matériau à ne pas dégrader ni interférer avec le milieu biologique dans lequel il est utilisé.

DOCUMENT : DES MATÉRIAUX BIOCOMPATIBLES

« Implants osseux, prothèses articulaires, implants auditifs ... Toutes les prothèses rencontrent le même problème une fois dans le corps : la biocompatibilité. Le corps détecte facilement tout ce qui n'est pas de nature biologique et déclenche ses défenses, ce qui peut aboutir au rejet de la prothèse.

[Outre la biocompatibilité, les ingénieurs qui conçoivent, par exemple, un tendon d'Achille artificiel, doivent prendre en compte la résistance biomécanique du matériau utilisé. Ce tendon est le plus résistant du

corps humain ; la force pour le rompre est estimée à 4000 N.]

Pour améliorer l'acceptation par le corps des ligaments artificiels, il sont habillés d'un « camouflage biologique ». En clair, les chercheurs greffent sur le ligament des polymères bioactifs, c'est-à-dire des motifs chimiques que l'on retrouve dans l'environnement des cellules. Décoré de ces motifs, le ligament artificiel ne suscite plus l'ire du corps. »

D'après X. MÜLLER, Journal du CNRS n°252-253, jan.-fév. 2011.

QUESTIONS SUR LA TROISIÈME PARTIE :

1. À l'aide de vos connaissances en S.V.T., expliquer pourquoi un ligament synthétique déclenche une inflammation dans l'organisme.
2. Que représente la force de rupture du tendon d'Achille par rapport au poids d'un individu de 80 kg ?
3. Quelles propriétés doit présenter un biomatériau utilisé pour réaliser un ligament artificiel ?

QUATRIÈME PARTIE : DES INNOVATIONS À SUIVRE

DOCUMENT I : DES LENTILLES DE CONTACT GRAND CONFORT

« La société Ciba Vision propose depuis plusieurs années déjà des lentilles de contact au confort amélioré par rapport aux lentilles standards. Le secret de ces lentilles réside dans un empilement de plusieurs films de quelques nanomètres d'épaisseur déposés sur la lentille grâce à un procédé mis au point à l'Institut Charles Sadron, à Strasbourg.

À l'origine, la lentille est hydrophobe : l'eau couvre mal sa surface, ce qui permet parfois à de l'air ou à des poussières de se glisser entre la lentille et l'œil. Avec les films, la lentille devient hydrophile : dans ce milieu aqueux qu'est l'œil, l'objet est comme un poisson dans l'eau et améliore grandement le confort de l'utilisateur.

Récemment, cette méthode de dépôt a été rendue encore plus puissante par les scientifiques strasbourgeois. Initialement, elle nécessitait de longs trempages successifs dans plusieurs liquides. Aujourd'hui, les chercheurs procèdent par pulvérisation des constituants des films directement sur la surface à couvrir.

Le gain de temps et les avantages logistiques sont considérables. Cette méthode de nanofabrication a, par ailleurs, été étendue à la fabrication de nombreux revêtements de surface intéressant les sciences de la vie, en particulier dans les domaines de l'ingénierie tissulaire, de la biocompatibilité des implants et des vecteurs pharmaceutiques. »



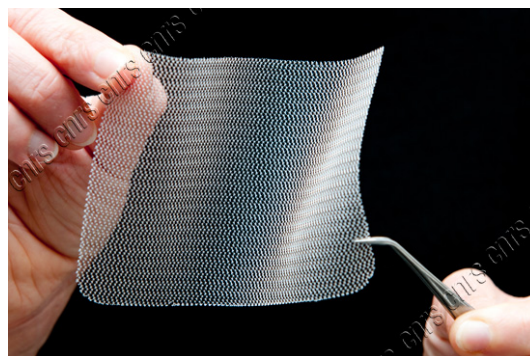
D'après X. MÜLLER, Journal du CNRS n°252-253, jan.-fév. 2011.

DOCUMENT II : DES PANSEMENTS QUI LIBÈRENT DES MÉDICAMENTS

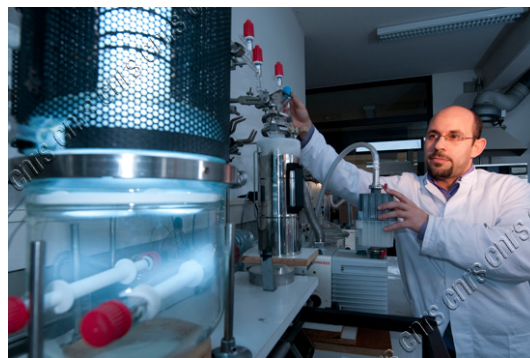
Des pansements médicamenteux qui libèrent un principe actif pendant plusieurs semaines : c'est l'une des applications possibles des recherches menées à l'Institut de Sciences des Matériaux de Mulhouse par Vincent ROUCOULES et Lydie PLOUX. L'idée, maline, est de venir coller sur l'élastomère ou le textile du pansement une « boîte moléculaire » qui s'ouvre brièvement seulement lorsque le malade effectue un mouvement. Une astuce qui garantit l'étalement dans le temps de la distribution des molécules médicamenteuses.

Comment les chimistes et les biologistes fabriquent-ils cette boîte ? Ils emprisonnent les molécules bioactives entre deux couches de polymères de plusieurs dizaines de nanomètres d'épaisseur : en se fissurant lors d'un étirement, les couches larguent ensuite les molécules captives. Ces molécules sont déposées sur le pansement par polymérisation plasma, un procédé plus propre que les procédés classiques de polymérisation qui font intervenir des solvants.

Les chercheurs, soutenus par la Région Alsace, travaillent en ce moment avec des chirurgiens de Besançon pour fabriquer des pansements à usage interne qui éviteraient des infections lors d'opérations de l'abdomen. L'équipe, dirigée par Marie-France VALLAT, est également impliquée dans un projet ayant pour objectif de développer, toujours par polymérisation plasma, d'autres substrats à visées thérapeutiques devenant bioactifs sous contrainte mécanique.



Pansement prêt à accueillir le principe actif



Réacteur plasma

D'après X. MÜLLER, Journal du CNRS n°252-253, jan.-fév. 2011.

QUESTION DE SYNTHÈSE DE L'ACTIVITÉ :

En une vingtaine de lignes maximum, rédiger une synthèse argumentée précisant les contraintes auxquelles les biomatériaux doivent satisfaire, les techniques mises au point par les chercheurs pour y parvenir et les avantages que présente leur utilisation.