



Le Concept des Nano-robots et leurs applications

M. Bernard Sidibe¹, Y. Toloba², D. Traore³, I. Cisse⁴

1- département de Génie industriel, Ecole Nationale d'Ingénieurs, Bamako, Mali

2 - Faculté d'Odontostomatologie, - Université des sciences techniques et technologiques de Bamako,

3- Ecole Normale d'Enseignement Technique et Professionnel ; Bamako, Mali

4- département de chimie - Université des sciences techniques et technologiques de Bamako.

** Corresponding author.*

sidibebernard@yahoo.fr ,
drissatraore2001@yahoo.fr,

Received 15 Nov 2017,

Revised 18 Nov 2017,

Accepted 18 Dec 2017

Résumé. La nano-robotique est une discipline scientifique qui devient de plus en plus populaire compte tenu des perspectives qu'elle ouvre à travers beaucoup d'applications. Les champs d'application de la nano-robot sont immense : la technologie des matériaux, le spatial, l'écologie, l'informatique, l'électronique, les communications, la chimie etc. Mais La discipline qui est en train d'être révolutionnée par ces nouvelles applications de la nano-robotique est la médecine et la pharmacie. C'est pourquoi dans cet article, après un survol sur la théorie du nano-monde, le reste du document a été centré sur les applications en médecine. Les dernières avancées remarquables sur l'application des nano-robots en médecine ont été compilées. Leurs avantages, radicalement révolutionnaires, sur le traitement de certaines maladies ont été montrés.

Keywords: nano-robots, nanotechnologies, effet tunnel, liposome, molécule, particule.

1. Introduction

Le nano-monde fait aujourd'hui l'objet de toutes les attentions [1,2]. Certains scientifiques futuristes y voient une prochaine révolution technique et industrielle. Les applications potentielles que l'on peut espérer de la nanotechnologie vont de la nutrition aux matériaux en passant par le traitement des cancers.

Les nano-robots sont des structures intelligentes à des échelles de 10^{-9} mètres (nanomètre) capables de bouger, d'analyser, de décider et de transmettre des informations. Ils peuvent être constitués de composants ayant la dimension de l'ordre du nanomètre [3]. Cependant, dans certains cas, leurs tailles

peuvent aller jusqu'à quelques millimètres. La nano-robotique, qui est un sous ensemble des nanotechnologies, fait référence au domaine d'ingénierie qui s'intéresse à l'étude, la conception et à la construction des nano-robots [4,5].

L'idée de nano-robots a été émise pour la première fois par le physicien américain Richard Feynman en 1959. Le terme « nanotechnologie » a été prononcé pour la première fois en 1974 par le scientifique japonais Norio Taniguchi. Les films et les romans de science fiction s'étaient très vite accaparés du sujet avec des idées fantaisistes. De nos jours, dans le monde entier, de nombreux scientifiques et leurs équipes travaillent sur les nano-robots. Les nanotechnologies font aujourd'hui partie de notre quotidien, présentes dans de nombreux domaines, elles se rendent indispensables [6]. Mais leur grand défi se situe en médecine : on attend beaucoup d'elles pour la guérison du cancer et d'autres maladies. Mais Il faut tout de même nuancer, car beaucoup de personnes ont tendance à penser, à tort, que les nano-robots ont déjà envahi le monde médical et qu'ils sont présents dans toutes les salles d'opération. Sans en être encore à ce stade, il est fort probable, au rythme où s'enchainent les innovations que d'ici une quinzaine d'années leur utilisation soit généralisée dans beaucoup de pays.

Dans cet article, les principes sur lesquels se basent les nano-robots sont d'abord donnés, ensuite les composantes et les types de nano-robots sont décrits, enfin une large partie concernant les usages des nano-robots est développée avant la conclusion.

2. Lois et principe du monde nano

Les lois et les principes qui gouvernent le nano monde est un véritable champ multidisciplinaires incluant les mécaniques classique et quantique en plus de la mécanique moléculaire (Figure1). En outre, les applications de la nano science font appeller à divers techniques de l'ingénierie, à la chimie et à la médecine.

En mécanique classique une particule est un objet ponctuel défini par l'ensemble position et vitesse (\vec{x}, \vec{v}) dans l'espace temps, alors qu'en mécanique quantique, une particule est un objet étendu, décrit par une fonction d'onde $\psi(\vec{x})$. Quand à la mécanique moléculaire, elle se base sur l'application du

principe fondamental de la dynamique à chaque grain i d'une simulation donnée : $\vec{F}_i = m_i \frac{d^2 \vec{x}_i}{dt^2}$

$$i = 1, \dots, N$$

Où N est le nombre de grains dans la simulation, m_i est la masse du grain i , x_i est sa position et \vec{F}_i est la force exercée sur ce grain. Le grain lui-même étant un ensemble de molécules.

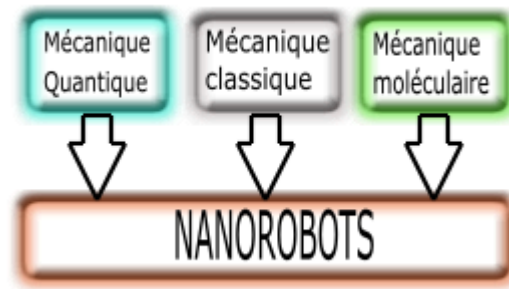


Figure 1. multidisciplinarité de la Nano-robotique

Ce sont donc les équations de Hamilton (ou Newton) dans le cas classique et l'équation de Schrödinger dans le cas quantique qui gouvernent l'évolution de ces objet nanométriques. A signaler que la gravité ne joue aucun rôle dans le domaine nano compte tenue de la petitesse de la masse.

Ce qu'il faut ajouter aux trois lois déjà citées c'est l'effet tunnel qui indique la propriété que possède une particule quantique de franchir une barrière de potentiel même si son énergie est inférieure à l'énergie minimale requise pour franchir cette dernière. C'est un effet purement quantique, qui ne peut pas s'expliquer par la mécanique classique. En effet en mécanique classique, une sphère descendant une pente n'a que la seule possibilité de remonter la barrière de potentielle si elle est suffisamment dotée d'énergie ou de retomber dans le creux (Figure 2). Par contre, Dans le domaine de la mécanique quantique, une nano particule a une chance infime de traverser la barrière en creusant un trou pour arriver de l'autre côté, d'où l'appellation effet tunnel.

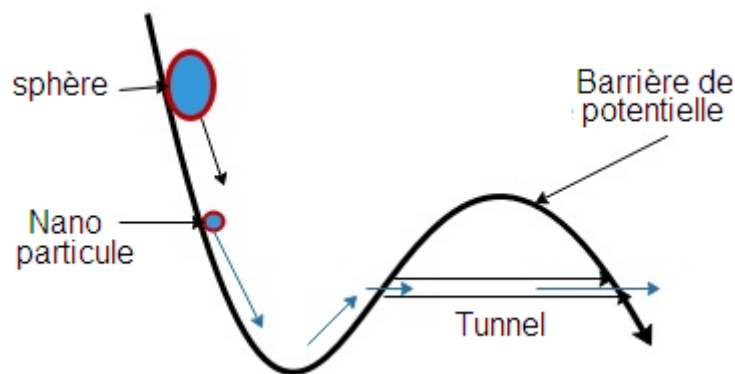


Figure 2. Illustration de l'effet tunnel

La probabilité pour que la particule se retrouve derrière la barrière n'est pas forcément nulle même avec une énergie insuffisante pour lui faire franchir le mur dans le monde classique. Pour une telle particule, la fonction d'onde $\psi(\vec{x})$, dont le carré du module représente la densité de probabilité de présence, ne s'annule pas au niveau de la barrière, mais s'atténue à l'intérieur de la barrière, pratiquement exponentiellement pour une barrière assez large. Cette probabilité dépend des états accessibles de part et d'autre de la barrière ainsi que de l'extension spatiale de la barrière.

C'est donc sur la base de toutes ces lois dominant le nano-monde que se construisent les nanotechnologies de façon générale et les nano-robots de façon particulière.

3. Les composantes d'un nano-robot

La structure d'un nano-robot peut comprendre un châssis, des articulations, des actionnaires, des capteurs, une ou des sources d'énergie, un ordinateur embarqué et un ou plusieurs bras manipulateurs. Les châssis des nano-robots sont aussi faits d'ADN ou de nanotubes [5] (Figure 3) qui doivent être capable de transporter des charges pouvant par exemple être des petites doses de médicaments. Les articulations des nano-robots sont faites d'ADN ou de liens nanométriques.

Les capteurs des nano-robots peuvent être de la rhodopsine (pourpre rétinienne) ou à travers le moyen de chocs thermiques.

Pour pénétrer dans l'organisme humain ou pour voyager à travers le courant sanguin, les nano robots ont besoin d'une certaine propulsion venant des moteurs via les articulations. Cette actuation peut être obtenu par l'intermédiaire des ATPases membranaires, les moteurs nanométriques ou les ADN.

Le châssis d'un nano-robot peut être doté de nano-manipulateurs (Figure 4) dans le but d'une manipulation d'organismes rencontrés sur le chemin.

Des concepts de la nanoélectronique sont pris en compte, dans la conception d'un nano-robot, dans le but d'une géolocalisation ou d'une communication.

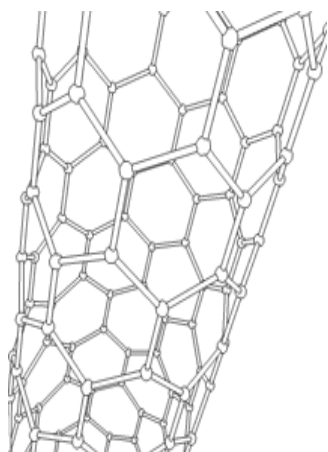


Figure 3. Nanotube de carbone



Figure 4. Nano-robots imagés dans un flux sanguin

4. Les types de nano-robots

Les types de nano-robots pouvant avoir des usages certains dans un future proche sont : Les microbivores, les respirocytes, les clottocyte et les dépanneurs.

Les microbivores se comportent comme les globules blancs du corps humain, mais conçu pour détruire plus rapidement les bactéries [7]. Ces types de nano robots doivent pouvoir éliminer les bactéries d'une infection chez un patient en quelques minutes, en opposition aux jours ou semaines exigés par les antibiotiques. Les nano-robots microbivores sont capables soit d'attraper les agents pathogènes cibles du flux sanguin et de les déchiqueter en fragments plus petits et moins nuisibles, soit de les digérer à travers un processus de phagocytose.

Les nano-robots respirocyles se comportent comme les globules rouges du corps humain; mais conçu pour transporter beaucoup plus d'oxygène. C'est une technique utile pour des patients souffrant d'anémie. Les nano-robots respirocyles contiennent de l'oxygène maintenu sous pression, Un capteur détermine la concentration d'oxygène du sang et commande en cas de besoin l'ouverture de la vanne pour libérer l'oxygène.

Les nano-robots Clottocyte jouent le rôle de plaquette sanguine (thrombocyte) dans le sang humain. Leur principale fonction consiste à transformer le fibrinogène en structures fibreuses de fibrine qui, à leur tour, enserrant les autres cellules sanguines tel un filet de pêche, ce qui rétrécit tout doucement la structure du filet, prévenant ainsi la perte de sang. Un système de nano-robots clottocytes peuvent maintenir des fibres jusqu'à la rencontre d'une plaie. A cet endroit précis, ils dispersent les fibres qui, ensemble, forment un caillot de sang aussi rapidement que possible et de la même manière que les thrombocytes.

Les nano-robots dépanneurs de cellules: Ils sont conçu pour faire la chirurgie [1] de précision au niveau cellulaire avec comme bistouri des signaux lasers, micro-ondes, ultrasoniques, ou par l'aide de nano-manipulateurs.

5. Les usages des nano-robots

Les nano-robots visent essentiellement à être des nano-médicaments dans le but de palier certaines difficultés rencontrées par les médicaments de type classique. En effet, ceux-ci peuvent être limités dans leur action par certaines barrières naturelles. Les principes actifs médicamenteux transmis par voie orale ou intraveineuse au patient peuvent être partiellement ou totalement dégradés et métabolisés par les enzymes. Ces protéines notamment responsables des réactions chimiques au sein de l'organisme sont très prolifiques dans le foie et les reins et participent entre autre à l'oxydation et à l'élimination du médicament.

Les scientifiques contournent cette barrière en augmentant les doses des principes actifs pour qu'un plus grand nombre de ceux-ci échappent aux enzymes. Cette solution ne satisfait pas pleinement la communauté scientifique car elle comporte des effets secondaires et se traduit par une baisse des performances thérapeutiques.

Autre complication : la membrane cellulaire isolant le cytoplasme et le noyau de la cellule du reste de l'organisme. Cette membrane est imperméable aux molécules trop hydrophiles, propriété chimique

propre à certains médicaments qui ne peuvent donc pas atteindre le noyau. Une masse moléculaire trop importante empêcherait le médicament de passer la membrane cellulaire. Alors que l'effet tunnel permet de contourner cet obstacle.

Les nano-médicaments ne sont pas révolutionnaires dans la composition de leurs principes actifs mais dans la manière dont ils sont transportés au sein de l'organisme jusqu'à leur cible biologique, et cela de façon très précise. On appelle ce phénomène la vectorisation.

S'appuyant sur de nouveaux concepts physico-chimiques, le principe de vectorisation des médicaments constitue aujourd'hui un des domaines majeurs de la recherche de la nanotechnologie en médecine. Il s'agit de pouvoir cibler des parties mais aussi des cellules précises de l'organisme pour leur administrer un médicament.

Un ensemble de termes a été créé pour nommer ce procédé de vectorisation : nano-capsule, nano-sphère, microbille, liposome. Dans cet article, nous le nommerons liposome [3]. Le liposome est une vésicule biodégradable constituée d'une double couche de phospholipides (graisse) et d'un compartiment aqueux.

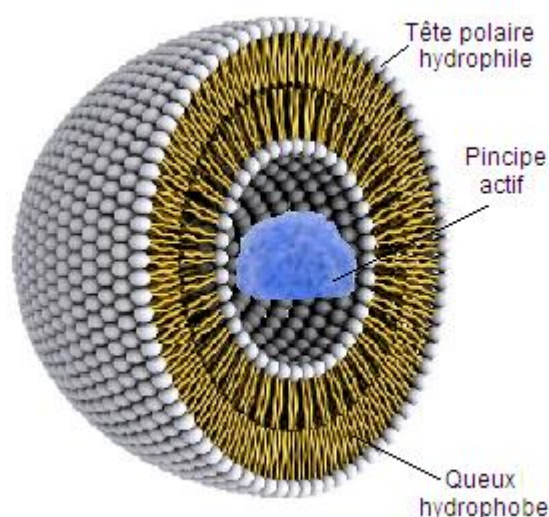


Figure 5. Coupe d'un liposome contenant le médicament

Les liposomes ont connus des évolutions et sont à leur troisième génération qui ont bien évidemment le principe actif du médicament et du PEG (polyéthylène glycol) pour éviter d'être considéré comme « corps étranger ». En plus de cela ils ont également des marqueurs à acide folique qui leur permettront de reconnaître et de localiser précisément les cellules cancéreuses car ces dernières ont une caractéristique qui est l'hyper expression des récepteurs d'acide folique. C'est pour cela que ces nano-vecteurs sont également appelés « liposomes pégylés et décorés ». Tout comme les liposomes de deuxième génération les liposomes pégylés et décorés passent à travers la barrière des opsonines (Figure 6) et continuent leur route dans le système sanguin. En arrivant à proximité d'un tissu tumoral,

les liposomes pégylés et décorés rencontrent un épithélium vasculaire discontinu. Ils vont alors pouvoir passer au travers de l'épithélium vasculaire et atteindre la tumeur.

Grâce à l'acide folique présent à leur surface, les liposomes se fixent sélectivement sur les cellules tumorales, porteuses, excessivement du récepteur à l'acide folique. Ils sont ensuite internalisés par la cellule malade et le médicament est alors libéré et la cellule détruite.

Les liposomes qui ont des glycoprotéines virales à leur surface sont appelés les « virosomes ». Ils sont captés par les macrophages, qui exposent donc directement l'agent antigène. De cette façon, les virosomes pourraient fonctionner comme des vaccins. Cette méthode est actuellement à l'étude par des chercheurs et médecins parce que les virosomes actionnent le système immunitaire tout en ne contenant pas de matériel génétique infectieux.

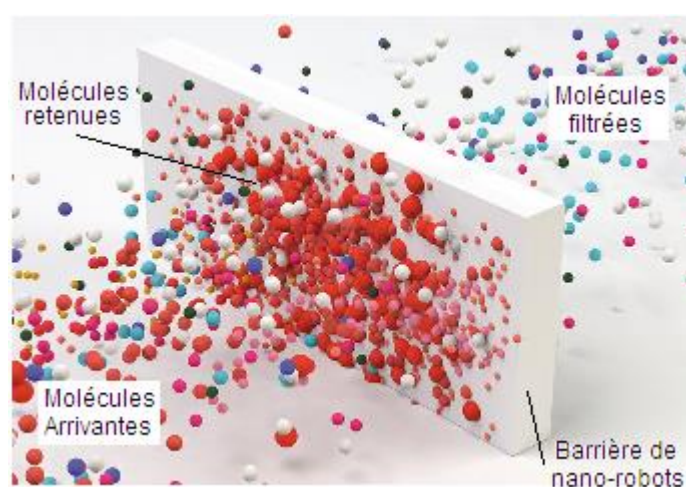


Figure 6. Illustration de barrière de nano-robots

6. Conclusion

La nano-robotique est sortie du domaine de la fiction pour devenir une discipline scientifique à part entière. Elle a permis la possibilité de réduire la taille des objets tout en augmentant leurs performances nous promet des produits plus petits, plus légers, moins chers, plus puissants.

En quelques années, elle est devenue l'un des champs de recherche les plus importants du monde. Les scientifiques ne cessent de faire des progrès malgré les obstacles les normes et contrôle dans le domaine médical. En effet, les autorités sanitaires ne veulent prendre aucun risque et supervisent chaque nouveau procédé.

Des nano-robots sont désormais capables d'entrer et d'évoluer dans le corps humain en atteignant une cible très petite avec une précision quasi optimale. Dans un futur très proche, ils seront capables d'effectuer des actes chirurgicaux simples et des missions d'exploration.

Les procédés de miniaturisation s'améliorent et deviennent de plus en plus performants. Dans quelques années, les scientifiques seront capables de manipuler l'ADN, de fabriquer des organes

humains auto-réparant. Certains futuristes estiment, qu'il sera possible d'envoyer des mini-laboratoires capable de diagnostics en direct dans le corps.

Il apparait donc clairement que la nano-médecine est la médecine de demain.

Références

1. Bo. song "cellular-level surgery using nano robots" **journal of laboratory automation: (2012).**
2. T. Gupta and A. H. jayatissa, "recent advances in nanotechnology: **key issues & potential problem areas**", **0-7803-7976-4/031\$17.00 02003 IEEE, 469-472 (2003).**
3. N. Monteiro, A martins, R.L. Reis, M. M. Neves "liposomes in tissue engineering and regenerative medicine", **published 29 (2014).**
4. d. Ranjan Dalai " futuristic application of nano-robots in dentistry" **International Journal of Advanced Health Sciences: 7 (2014).**
5. Deepa r. parmar, 'nanorobotics in advances in pharmaceutical sciences" *International Journal of Drug Development & Research, / April- June (2010)*
6. N. N. sharma, r.k. mittal " nanorobot movement: challenges and biologically inspired solutions" **International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, 1, 1, (2008)**
- 7 A. Cavalcanti, B. Shirinzadeh, M. Zhang, Luiz C. Kretly, "Nanorobot Hardware Architecture for Medical Defense", **In IM2653 Molecular Electronics, Spring (2011)**
8. A. Cavalcanti, B. Shirinzadeh, T. Fukuda, S. Ikeda, "Nanorobot for Brain Aneurysm", U4 Nano-robots, In CHEN 689-601 Nanotechnology: **The Physics, Chemistry, and Engineering of Nanotechnology, Spring 2010,**

(2017) ;<http://revues.imist.ma/?journal=mjpas&page=index>