

**« Les nanotechnologies sont  
les technologies de l'infiniment petit. »**

*Pourquoi ne pourrions-nous pas écrire l'intégralité  
des 24 volumes de l'Encyclopædia Britannica  
sur une tête d'épingle ?*

Richard Feynman, 1959

Quand on parle de nanotechnologies, aujourd'hui, on pense, par exemple, à des poudres ultrafines que l'on incorpore dans une crème cosmétique pour arrêter les rayons UV du soleil ou aux millions de composants que l'on trouve sur un circuit électronique (microprocesseur) mesurant moins d'un centimètre carré.

En fait, « nano » fait référence à des objets vraiment très petits, un million de fois plus petits qu'un millimètre. Difficile à imaginer ! Un cheveu humain (0,1 mm d'épaisseur), c'est déjà 100 000 nanomètres (nm) ; le fil d'araignée entre 25 000 et 70 000 nm. Un globule rouge, c'est 700 nm de diamètre. Les virus, par contre, sont des objets nanométriques ; ils mesurent quelques dizaines de nanomètres. La molécule d'ADN est un fil qui peut mesurer plusieurs mètres de long quand il est déplié, mais seulement 2 nm de large.

« Nano » est un préfixe qui, dans les sciences, signifie une fraction d'un milliardième (1/1 000 000 000) – comme « milli » signifie un millième (1/1 000) et « micro » un millionième (1/1 000 000). Cela dit, quand on parle de « nano » aujourd'hui, on sous-entend « nanomètre » (nm) –

un milliardième de mètre (pas nanogramme, ni nanoseconde). Le terme est utilisé pour qualifier des objets ou des phénomènes de cet ordre de grandeur. C'est l'échelle des atomes, qui passionnent les physiciens, et celle des molécules sur lesquelles travaillent les chimistes et une partie des biologistes.

Une première définition consiste à dire que les nanotechnologies sont l'ensemble des connaissances et des techniques grâce auxquelles on crée, manipule, visualise et utilise des objets (matériaux ou machines) qui sont de l'ordre du nanomètre. Elles concernent la conception, la caractérisation, la production et les applications de matériaux et de systèmes à cette échelle. L'idée d'agir sur la matière à partir des atomes et de la transformer à l'échelle nanométrique a été suggérée par Richard Feynman en 1959, lors de son discours visionnaire devant l'American Physical Society.

Les nanosciences désignent l'étude scientifique des phénomènes et des objets à l'échelle nanométrique, dont les propriétés diffèrent parfois par rapport à ce qui est observé à plus grande échelle.

L'expression de « nanosciences » et « nanotechnologies » (NST) est utilisée pour parler de la diversité des recherches et des développements technologiques engagés autour des objets de taille nanométrique. Ce domaine exige de disposer d'outils de travail de très haute précision pour visualiser ce qui se passe à une échelle aussi petite et pour déplacer les atomes individuellement. Il connaît un fort développement depuis 1981 avec l'apparition d'un nouveau type de microscope (microscope à force atomique), qui rend possible l'observation et la manipulation individuelle des atomes et des molécules.

On parle de « nano » pour désigner à la fois le domaine de recherche et développement NST et les

produits issus de ces développements technologiques.

Toutefois, la définition de « nanotechnologie » est un sujet controversé. Les désaccords portent sur les frontières du domaine. Quand on parle d'un objet nanométrique, de quoi s'agit-il ? Seulement des objets mesurant environ quelques nanomètres ou ceux mesurant maximum quelques nanomètres ? Dans ce cas, il faut considérer que chimistes, physiciens et biologistes font déjà des nanosciences depuis longtemps. Les physiciens, dans le domaine nucléaire, travaillent sur les atomes depuis plus de cinquante ans, les chimistes depuis plus d'un siècle – en catalyse, pharmacochimie et chimie des polymères. De même pour les biologistes qui étudient les virus ou les interactions entre la cellule et son environnement.

Et quelle serait la limite supérieure d'un objet nanométrique ? Ici, également, les avis divergent. Beaucoup s'accordent pour considérer comme nanométrique les objets d'une taille inférieure ou égale à 100 nanomètres. Cette limite est souvent citée car en dessous, la matière se comporte de manière différente.

La question se pose aussi de définir quels objets sont concernés par cette limite de taille. Le problème n'est pas anodin ; il est source de nombreuses ambiguïtés. S'agit-il :

– De toutes les dimensions de l'objet ? Les nanotechnologies se limitent alors aux nano-objets, nanorobots, nanoparticules dont aucune dimension ne dépasse 100 nanomètres ;

– D'au moins une de ses dimensions ? Si les nanotechnologies sont définies comme technologies travaillant sur des objets dont une des dimensions, au moins, s'exprime en nanomètres, elles concernent alors tout objet qui peut mesurer plusieurs microns, millimètres, centimètres ou mètres de long (on parle

alors de « nanotubes » ou de « nanofils ») et de large (il s'agit là de « couches nanométriques »). Dans l'électronique, les industriels font ainsi des dépôts de matière de quelques dizaines de nanomètres d'épaisseur, puis y creusent des sillons, y appliquent de nouveaux dépôts, et ainsi de suite, pour créer des « empilements » et des circuits électroniques. Plus généralement, cela concerne toutes les surfaces « nano-structurées », c'est-à-dire les matériaux, en surface, où les particules de matière (ou « mailles élémentaires ») sont ordonnées de manière contrôlée ;

– Des dimensions d'un élément faisant partie de l'objet ? Dans le cas des microsystèmes composés de plusieurs pièces, d'aucuns parlent de nanotechnologie parce que certains éléments sont nanométriques alors que le microsystème en lui-même est bien plus gros. Les microprocesseurs de l'industrie électronique sont de l'ordre du centimètre alors qu'ils contiennent des millions de transistors nanométriques ;

– D'aucune des dimensions externes de l'objet ? Le nanomètre concerne alors le degré de précision de fabrication de ce dernier (tolérance de taille ou maille de la structure). Dans ce cas, l'objet peut avoir n'importe quelle dimension mais ses dimensions externes ou son maillage interne sont réalisés avec une précision de l'ordre du nanomètre. Si la précision de fabrication est de ce type, elle concerne, en particulier, la miniaturisation de l'électronique mais certains considèrent que cela n'a rien à voir avec les nanotechnologies. Cette appellation serait réservée aux cas où la fonction assumée par l'objet tient sur quelques nanomètres, avec une précision de fabrication d'environ 0,05 nanomètre. Il s'agirait là du cœur des nanotechnologies et de sa recherche du nombre minimum d'atomes nécessaires pour construire une machine, atome par atome ;

– De structuration « au hasard » dans la masse

d'un matériau (par exemple, une inclusion de nano-objets ou de nanofils pour le renforcer comme dans les raquettes de tennis ou les pneus) ? On parle alors de nanomatériaux. Cette définition est d'ailleurs également ambiguë car quasiment tous les matériaux (ciment, métaux, bois...) sont, naturellement ou pas, nanostructurés. Aussi, certains restreignent l'appellation de nanomatériaux à ce qui a été sciemment nanostructuré par l'être humain.

Les nanotechnologies, oui, sont donc bien des technologies de l'infiniment petit, mais derrière cette définition englobante se cachent des choses très différentes les unes des autres. Les experts, soucieux de ne pas tout mélanger, construisent alors des définitions plus précises mais ils ne s'accordent pas entre eux sur ces définitions, même quand il s'agit de préciser la taille des objets « nanos ».