

Nanosciences et Nanotechnologies

1. Le préfixe nano.

1.1 **A l'école primaire**, nos enseignant-e-s nous ont appris quelles étaient les unités de mesure indispensables dans la vie courante et comment les utiliser. Ainsi avons nous appris que les premiers multiples du mètre du litre et du gramme sont respectivement :

- le décamètre, l'hectomètre, le kilomètre ;
- le décalitre, l'hectolitre, le kilolitre ;
- le décagramme, l'hectogramme, le kilogramme.

De même, les premiers sous-multiples du mètre, du litre et du gramme sont respectivement :

- le décimètre, le centimètre, le millimètre ;
- le décilitre, le centilitre, le millilitre ;
- le décigramme, le centigramme, le milligramme.

Nous avons découvert, alors, que faire précéder une unité du préfixe déca hecto ou kilo revient à la multiplier par 10, 100, 1000.

De même, faire précéder une unité du préfixe déci, centi ou milli revient à la multiplier par 1/10, 1/100, 1/1000.

1.2 **Tous les praticiens des sciences exactes**, physiciens, chimistes, biologistes, astronomes ont été conduits depuis longtemps à utiliser, dans leurs travaux, des *multiples et des sous-multiples* d'ordres respectivement supérieurs à 10, 100, 1000 ou inférieurs à 1/10, 1/100, 1/1000.

Pour cela, ils ont (eu) recours à une notation commode, la *notation exponentielle*.

Avec la notation exponentielle, on écrit :

- 10^1 (10 à la puissance 1) à la place de 10
- 10^2 (10 à la puissance 2) à la place de 100
- 10^3 (10 à la puissance 3) à la place de 1000 etc.

- 10^{-1} (10 à la puissance (-1)) à la place de 1/10
- 10^{-2} (10 à la puissance (-2)) à la place de 1/100
- 10^{-3} (10 à la puissance (-3)) à la place de 1/1000

et par convention 10^0 (10 à la puissance 0) à la place de 1.

Voici le tableau nominatif des puissances positives et négatives de 10 dont l'on se sert le plus :

Déca	Hecto	Kilo	Méga	Giga	Tera	Peta	Exa	Zetta	Yotta
10^1	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}	10^{24}

Déci	Centi	Milli	Micro	Nano	Pico	Femto	Atto	Zepto	Yocto
10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}

1.3 Remarques.

(i) Quelques points de repère :

Un cheveu d'un être humain mesure environ 80.000 nanomètre ;
Une molécule d'ADN a une largeur d'environ 2,5 nanomètre ;
une cellule de sang humain a un diamètre d'environ 500 nanomètre ;
la lumière dans le vide parcourt 1 mètre en 3,2 nanoseconde environ.

(ii) Réciprocité :

* Si A et B sont deux objets de tailles comparables et si, avec la même unité, taille (A) = (10^9) taille (B), alors : taille (B) = (10^{-9}) taille (A).

** La durée de vie moyenne d'un neutron est de 15 minutes ;
la durée de vie moyenne d'une particule Z est de $2,69 \cdot 10^{-25}$ secondes ;
pour une particule Z, le neutron est éternel.

2. Notions très élémentaires de philosophie des sciences.

2.1 La science moderne est matérialiste et réductionniste :

matérialiste car elle pour projet de décrire le monde et de le comprendre, en étudiant les seules propriétés de la matière – inerte ou vivante – sans faire intervenir quelque finalité ou quelque entité qui serait transcendante à la matière.

réductionniste car elle veut expliciter les propriétés fonctionnelles de la matière, même les plus complexes comme résultant de combinaisons fonctionnelles d'entités matérielles élémentaires fondamentales.

2.2 La descente infinie.

Pour (tenter de) découvrir les entités élémentaires fondamentales à partir desquelles l'univers s'est construit - les briques fondamentales de l'univers - les scientifiques sont « descendus » de plus en plus profondément dans les « soubassements » de la matière

Ils ont découvert ainsi que, là, l'intuition sensible acquise par le chercheur dans le monde macroscopique (où nous vivons) est caduque.

Seule est opérationnelle la Physique quantique.

Dans le monde quantique, une particule est à la fois onde et corpuscule (de matière) ; on ne peut pas déterminer exactement la trajectoire d'une particule (comme on le ferait en Physique classique), on peut seulement calculer la probabilité pour que cette particule se trouve en un point (quelconque) donné à un instant (quelconque) donné ; l'énergie croît ou décroît de façon discrète -c'est-à-dire par sauts.

2.3 Remarques.

(i) La Physique classique est un cas particulier de la Physique quantique.

(ii) Voici quelques particules fondamentales découvertes par les physiciens nucléaires :

le photon, l'électron, le proton, le neutron, le neutrino.

Le physicien Gell-Man a montré que toutes les particules fondamentales en Physique étaient des combinaisons de *quarks* - particules que l'on n'a pas pu isoler.

(iii) La science moderne comme la théologie recourt à l'invisible pour comprendre le visible !

3. Voir au delà du visible.

3.1 Microscopes et Téléscopes.

Pour explorer les « profondeurs » de la matière, les chercheurs scientifiques ont inventé des appareil(age)s de plus en plus performants.

Ils ont d'abord fabriqué des loupes optiques au pouvoir grossissant croissant, puis des microscopes au pouvoir de résolution de plus en plus grand.

Avec ces appareils, à des échelles comprises entre le millimètre et le nanomètre, ils ont découvert, avec émerveillement, un univers stupéfiant.

De même, les astrophysiciens ont conçu des lunettes puis des télescopes de plus en plus puissants pour explorer les « limites » de l'univers. Avec ces appareils, ils ont pu « voir » des astres invisibles à l'oeil nu et remonter très loin dans le temps vers l'origine du monde.

Il faut noter que plus les microscopes et les télescopes sont perfectionnés, plus ils « coagulent » de connaissances théoriques et techniques et plus ils sont onéreux.

3.2 Les microscopes à balayage.

Le microscope classique a été inventé entre la fin du seizième siècle et le début du dix-septième.

Dpuis cette époque, la résolution des microscopes et la qualité de leurs images n'ont pas cessé d'augmenter.

Le grossissement de l'image donnée par un microscope optique peut varier de 200 à 1500 et son pouvoir séparateur atteindre 0,2 micron – c'est-à-dire 0,2 millionième de mètre.

L'*ultramicroscope (optique)* et le *microscope électronique* qui améliorent les performances du microscope optique ont un pouvoir séparateur de 500 nanomètres pour le premier et de 60 nanomètres pour le second.

Ce sont les phénomènes de *diffraction* qui limitent le pouvoir séparateur des microscopes que nous venons de citer ; au delà d'un certain grossissement, en effet, l'image d'un point apparaît comme une tache circulaire.

Ce fut dans les années 80 seulement que fut mise au point la première *sonde à balayage* qui permettait de voir de façon indirecte des atomes à la surface d'un solide.

Cet appareil fut improprement appelé « **microscope à effet tunnel** » (en anglais « Scanning Tunneling Microscope » ou en abrégé SMT)

Il fut conçu et réalisé par G. Binnig, H. Rohrer (Gerber et Werbel) dans un laboratoire d'IBM à Zurich.

Le microscope à effet tunnel mesure l'intensité du courant électrique circulant dans l'intervalle entre une sonde nanométrique – une pointe très effilée – et une surface dont la structure à étudier est nanométrique.

Les informations données par la sonde permettent après leur traitement dans un ordinateur de « voir » la surface considérée et d'en déterminer la structure.

Depuis la découverte du microscope à effet tunnel, d'autres appareil(lage)s ont été construits sur le même principe, à savoir :

le microscope à force atomique , le microscope à force magnétique, le microscope à force électrique etc.

4. Nanotechnologies.

4.1 Nanoparticules.

De nombreuses nanoparticules se trouvent actuellement dans notre environnement, produites par différentes industries ; aucune étude sur leur nocivité n' a été menée avant leur fabrication et leur diffusion. C'est seulement aujourd'hui, avec un temps de retard important, que des chercheurs scientifiques commencent à s'intéresser aux capacités de nuisance de ces nanoparticules,.

4.2 Comment fabriquer des nanostructures.

Une **nanostructure** est assemblage de taille nanométrique, d'atomes ou de molécules.

Un microscope à balayage avec lequel on peut « voir » des structures nanométriques permet aussi de fabriquer des nanostructures, en manipulant atomes ou molécules, un à un, avec la pointe de balayage de sa sonde nanométrique.

Bien qu'il existe des appareillages utilisant plusieurs centaines ou milliers de pointes de balayage, la fabrication de nanostructures est encore artisanale.

On appelle **nanotechnologie** tout procédé de manipulation d'atomes ou de molécules à l'échelle nanométrique.

Voici une liste non exhaustive de nanotechnologies :

lithographie, écriture avec une nanoplume, fabrication de cristaux, polymérisation, synthèse moléculaire.

4.3 Limite des nanotechnologies.

Un calcul élémentaire montre que pour produire, comme on l'a indiqué au paragraphe précédent, quelques grammes de matière, à partir des 91 atomes naturels qui sont répertoriés dans le tableau de Mendeleïeff. il faudrait plusieurs millions d'années.

Les nanostructures fabriquées aujourd'hui, sont obtenues à partir de **nanobriques** plus grandes que des atomes ou des molécules ; on utilise, ainsi, comme nanobriques, **les nanotubes ou les nanocâbles de carbone** qui sont très légers et très flexibles et qui se comportent d'ailleurs presque comme des supraconducteurs (et ont donc une résistance électrique très faible).

4.4 Nanophysique et Physique des particules.

Les praticiens de la Nanophysique et ceux de la Physique nucléaire procèdent différemment :

les premiers explorent les « profondeurs » de la matière sans la violenter ; les seconds découvrent les secrets de l'atome en le bombardant avec des particules énergétiques d'une très grande violence.

On connaît les désastres causés par l'industrie nucléaire civile ou militaire (partout dans le monde) ; on ignore, encore, toutes les conséquences du développement des nanotechnologies. Il est vraisemblable, comme nous le verrons plus loin, que ces dernières seront aussi monstrueuses que les premières.

5. Nanosciences et nanomonde.

5.1 La modélisation du réel.

Depuis les origines, le monde est un mystère pour les hommes. Pour (tenter de) cerner ce mystère, les hommes ont élaboré des représentations du monde, des **modèles du réel** ; modèles religieux, philosophiques, idéologiques, scientifiques, qui ne révèlent chacun qu'un aspect du réel ; même en les conjuguant, ces modèles ne nous dévoilent pas le mystère du monde dans sa totalité.

Certains de ces modèles, d'ailleurs, à cause de leur abstraction et de leur complexité, sont pour le profane plus mystérieux que le réel lui-même !

En 1623, **Galilée**, dans son livre « L'Essayeur », mit en évidence le rôle majeur des mathématiques pour pénétrer le mystère du monde ; pour lui, les mathématiques étaient l'unique guide auquel on puisse se fier « pour ne pas errer vainement dans le labyrinthe du monde ».

Pour nous aider à déchiffrer la problématique à laquelle nous sommes confrontés, aujourd'hui, avec le développement systématique des nanotechnologies et l'émergence d'un nouveau monde, le nanomonde, nous présentons, ci-dessous, un *classement* des modèles du réel qui ont, ou ont eu, le plus de crédit ou d'influence.

Voici ce classement :

1° niveau : modèles religieux

2° niveau : modèles philosophiques

3° niveau : modèles idéologiques

4° niveau : modèles des sciences humaines

5° niveau : modèles mathématiques du monde macroscopique

6° niveau : modèles mathématiques du monde nanométrique

7° niveau : modèles mathématiques du monde subatomique

Remarques et commentaires :

(i) Il faut noter que seules les modèles des cinquième, sixième et septième niveaux ont directement recours aux mathématiques.

(ii) Les séparations entre les différents niveaux ne sont pas étanches.

(iii) D'autre part, dans le monde nanométrique, coexistent deux sous-modèles : celui de la *physique mésoscopique* qui traite des propriétés des assemblages comportant de quelques dizaines à quelques centaines d'atomes et celui de la *physique nanométrique (proprement dite)* qui traite des propriétés des assemblages comportant moins d'une dizaine d'atomes.

(iv) La littérature et les arts sont des sous-modèles des modèles considérés aux trois premiers niveaux.

5.2 Modèles mathématiques et inventions techniques.

La modélisation mathématique est un outil (une méthode) fondamentale utilisée dans plusieurs domaines de la recherche scientifique.

Grâce à elle, des phénomènes indéchiffrables par le chercheur scientifique peuvent être traduits en langage mathématique, intégrés dans un cadre mathématique (optimal et) opérationnel et ainsi, être compris.

La théorie de la Relativité et la théorie de la Physique quantique démontre la puissance de la modélisation mathématique.

Le domaine d'utilisation de la modélisation mathématique s'étend, aujourd'hui, à tous les secteurs de l'activité humaine – servant quelquefois de caution à des théories scandaleuses ou aberrantes ; la théorie économique de Milton Friedman en est un exemple.

L'invention technique est un produit conçu, en général, à partir d'un modèle mathématique, pour répondre à un « besoin » précis des sciences ou de la société.

La roue, le moulin à vent, l'imprimerie, la machine à vapeur, mais aussi le fusil, le canon, les gaz asphyxiants, la radioactivité artificielle, etc; sont des inventions techniques.

5.3 Les inventions techniques perturbent le monde et le dénaturent.

Pour deux raisons essentiellement :

(a) Une invention technique est conçue à partir du modèle scientifique d'un phénomène qui est une découpe dans la trame du réel ; pour décrire ce phénomène, le chercheur scientifique n'a retenu qu'un nombre fini de paramètres, ignorant pour son étude l'infinie complexité du réel (la transcendance de la matière).

(b) Alors que le chercheur scientifique qui élabore un modèle mathématique récuse tout recours à une quelconque finalité ou entité transcendante, celui qui conçoit un nouveau produit est soumis le plus souvent – presque toujours - à l'exigence d'une finalité contraignante, d'ordre sociologique ou idéologique.

*Citons comme **exemples**, dans le domaine de la chimie, particulièrement : les pesticides, inventés pour faire la guerre aux « parasites » de l'agriculture ; les médicaments conçus pour faire la guerre aux microbes et aux virus qui « s'attaquent » aux êtres humains ; « l'agent orange » créé (par l'entreprise Monsanto) pour faire la guerre à l'homme et à la nature qui l'abritait.*

5.4 Six thèses sur l'invention technique.

Nous allons énoncer, ci-dessous, cinq thèses sur les perturbations que toute invention technique produit dans l'environnement où elle est activée.

On peut facilement vérifier l'exactitude de ces thèses en médecine -où la présentation de tout médicament est accompagnée de la liste de ses effets indésirables ; ou bien en faisant l'inventaire de tous les bouleversements, de toutes les crises, de toutes les détresses, causés, par exemple, par la machine à vapeur ou par toutes les machines de guerre modernes (et anciennes !)

On se convaincra, très vite, ainsi, de la portée générale de ces thèses que voici :

première thèse : toute invention technique - réalisation originale, marchandise nouvelle, etc. - induit dans l'environnement où elle est activée dans le monde, où elle opère, une perturbation c'est-à-dire une modification durable, dont l'ampleur et la malignité sont *a priori* imprévisibles.

deuxième thèse : plus profonde est l'intelligence théorique des phénomènes auxquels se réfère une invention, plus radicales et essentielles seront les perturbations qu'elle pourra entraîner.

troisième thèse : la conjonction de plusieurs inventions qui séparément induisent des perturbations limitées, peut être à l'origine de perturbations majeures.

quatrième thèse : toute invention importante implique une mutation des modes de pensée. Quand cette mutation est retardée, l'invention devient facteur de crise à plusieurs niveaux.

cinquième thèse : la matière n'est pas une glaise que les hommes pourraient façonner à leur guise ; la matière «transcende» toujours l'inventeur.

sixième thèse : a travers le développement de la technostucture se précise de plus en plus nettement le dessein de l'homme occidental moderne : s'affranchir définitivement de toutes les contraintes naturelles pour re-créeer librement le monde.

6. Nanosciences et nanotechnologies. Le chaînon manquant.

6.1 Vers un nouveau monde.

(a) La création de la société idéale.

A chaque modèle du monde correspond un type de société - qui est l'incarnation de ce modèle.

Les modèles religieux se sont incarnés dans des théocraties (hébreux, égyptienne, etc.) ; la chine confucéenne, la cité athénienne à son apogée, incarnèrent un modèle philosophique ;

les totalitarismes fascistes, nazis, soviétiques, maoïstes, incarnèrent les idéologies du même nom ;

les modèles scientifiques qui se sont succédés ont présidé aux évolutions de la civilisation et de la société occidentale ; leur idéologie s'est incarnée dans la cité aux dimensions planétaires qui s'est édifée en réunissant, agrégeant, soudant toutes les cités de la Terre ; cette cité, que nous appelons La Ville, se proclame, maintenant, société ultime ou société idéale ; elle exerce sur les habitants de notre planète toute entière un pouvoir totalitaire, de plus en plus coercitif.

(b) La création du sur-homme.

La Ville est la matrice du sur-homme en gestation.

Le sur-homme doit naître, demain, de la convergence des quatre technologies majeures qui modèlent le monde aujourd'hui :

les technologies de l'information et des sciences cognitives, les biotechnologies et les nanotechnologies.

Comme La Ville est la « création » de l'homme, le sur-homme sera la première « créature » artificielle capable de se reproduire, inventée par l'homme.

Pour que cet homme puisse advenir, il faut absolument que se développent les neurosciences qui, actuellement, sont à l'état embryonnaire.

C'est pourquoi, dans les pays riches, des crédits très importants sont accordés aux

laboratoires qui oeuvrent pour le développement des nanosciences et des nanotechnologies. Ainsi, chaque année, de nombreux articles sont-ils publiés dans le domaine des nanosciences ; la recherche sur les nanoàotechnologies progressent « à marches forcées ».

6.3 La catastrophe prévisible.

Toutes les conditions sont réunies pour qu'une catastrophe de grande ampleur se produise. Tandis que scientifiques et politiques, au plus haut niveau, tiennent des propos lénifiants sur les dangers éventuels des nanotechnologies, une inquiétude lancinante grandit dans une fraction de la communauté scientifique et dans la société.

Les travaux scientifiques sur les dangers inhérents aux nanoproduits, déjà utilisés aujourd'hui, se multiplient ; L'INRS (l'Institut National de Recherche et de Sécurité) préconise l'élaboration d'un code de bonne conduite pour la recherche en nanotechnologie....

Un opuscule volumineux serait nécessaire pour de décrire les méthodes utilisées par les tenants de La Ville et ses dirigeants pour anesthésier l'opinion publique;