

L'ORDRE DE GRANDEUR NANO, UNE DIFFICULTÉ DIDACTIQUE INTERDISCIPLINAIRE ET UN ENJEU CITOYEN

Marie-Hélène Lécureux-Têtu

▶ **To cite this version:**

Marie-Hélène Lécureux-Têtu. L'ORDRE DE GRANDEUR NANO, UNE DIFFICULTÉ DIDACTIQUE INTERDISCIPLINAIRE ET UN ENJEU CITOYEN. Espace Mathématique Francophone 2015, Espace Mathématique Francophne, Oct 2015, Alger, Algérie. hal-01947251

HAL Id: hal-01947251

https://univ-tlse2.hal.science/hal-01947251

Submitted on 13 Dec 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Pluralités culturelles et universalité des mathématiques :
enjeux et perspectives pour leur enseignement
et leur apprentissage

espace mathématique francophone
Alger : 10-14 Octobre 2015



L'ORDRE DE GRANDEUR NANO, UNE DIFFICULTÉ DIDACTIQUE INTERDISCIPLINAIRE ET UN ENJEU CITOYEN

Marie-Hélène LÉCUREUX-TÊTU*

Résumé –. Nous étudions ici un dispositif d'enseignement sur les nanotechnologies, mis en place dans un collège français de façon interdisciplinaire, dont l'objectif est de permettre la compréhension de l'ordre de grandeur nanométrique. Les nanotechnologies sont porteuses de questionnements sociaux et éthiques ; pour pouvoir répondre à ces questionnements, les citoyens doivent appréhender l'ordre de grandeur nanométrique et ce qui s'y joue. L'analyse du dispositif met en évidence les difficultés d'articulation entre les disciplines et plus particulièrement la difficulté à enseigner la notion d'ordre de grandeur.

Mots-clefs : interdisciplinarité, ordre de grandeur, nanotechnologies, TAD

Abstract– We study a teaching device on nanotechnologies set up in a French college in an interdisciplinary way. The aim of this device is to allow the understanding of the nanometric order of magnitude. Nanotechnologies are carriers of social and ethical issues; to answer these questions the citizens must understand the order of nanometer size and what plays it. The analysis highlights the difficulties of articulation between disciplines and especially the difficulty to teach the notion of order of magnitude.

Keywords: interdisciplinarity, order of magnitude, nanotechnology, ATD

I. INTRODUCTION

Dans le cadre de la promotion de la culture scientifique et technique en France, les professeurs des disciplines scientifiques ont la possibilité d'organiser des dispositifs d'enseignement permettant de rencontrer des chercheurs.

Nous nous intéressons à un dispositif de ce type, construit autour de la recherche sur les nanotechnologies, et aux questionnements éthiques associés. Ce dispositif a été mis en place dans quelques collèges français (classes de 3e, élèves de 14-15 ans, 4e année de collège). Nous analysons plus particulièrement la version initiale de ce dispositif, dans les années scolaires 2009-2010 à 2012-2013. La construction en a été pensée de façon interdisciplinaire. Notre analyse concerne plusieurs parties de ce dispositif :

1. Des séances d'enseignement autour de la question « qu'est-ce que les nanotechnologies ? », avec les professeures de mathématiques, physique-chimie, technologie. Nous appellerons ces séances les « séances de sciences » par abus de langage. Ces séances ont précédé la visite d'un laboratoire de recherche sur les nanotechnologies, le laboratoire d'analyse et

* Espé de l'académie de Toulouse, Université Toulouse Jean Jaurès – France – marie-helene.lecureux@univ-tlse2.fr

Lécureux-Têtu Marie-Hélène (2015) L'ordre de grandeur nano, une difficulté didactique et un enjeu pour le citoyen. In Theis L. (Ed.) *Pluralités culturelles et universalité des mathématiques : enjeux et perspectives pour leur enseignement et leur apprentissage* – Actes du colloque EMF2015 – GT5, pp. 478-489.

d'architecture des systèmes (LAAS). Des chercheurs du LAAS interviennent dans la dernière séance de sciences, et ont encadré la visite. Nous ne savons pas comment cette visite s'est déroulée, et en particulier comment les professeures des classes sont intervenus, si ce n'est en accompagnant les élèves.

2. Une partie débat en éducation civique, juridique et sociale (ECJS), menée par le professeur d'histoire-géographie. Une chercheure en sciences de l'éducation s'est engagée dans ce projet. Elle a travaillé plus particulièrement avec le professeur d'ECJS pour la mise en place du débat. Ce travail est réalisé en lien avec des chercheurs de l'équipe QSV (Questions Socialement Vives) de l'ENFA à Toulouse. Ces chercheurs ont publié à partir de l'analyse des débats, selon le point de vue QSV, on pourra consulter par exemple Brossais et Panissal (2013). Des études sur les relations aux sciences et le genre sont prévues, nous avons fait attention à garder les marqueurs de genre dans cette communication. Nos travaux apportent le regard plus spécifique de la didactique des mathématiques.

Par ailleurs, les élèves ont étudié en anglais du vocabulaire scientifique. En français, ils ont étudié un roman de science-fiction. Nous n'avons pas de trace du contenu de cette partie du dispositif.

Les résultats que nous présentons ici s'appuient sur l'analyse des séances de sciences, les enregistrements étudiés datant de l'année 2009-2010. Cette analyse a été réalisée à partir du cadre théorique fourni par la théorie anthropologique du didactique (TAD). Le débat en ECJS n'a pas été enregistré cette année-là, mais les années suivantes. Nous avons analysé deux débats : celui de l'année 2010-2011 et celui de 2012-2013. Cette analyse a été réalisée dans le cadre d'un mémoire de master recherche en didactique ; nous ne présentons ici qu'une petite partie des résultats.

Dans un premier temps, cette communication décrira les questionnements sociaux et/ou éthiques spécifiques aux nanotechnologies. Cette partie faisant appel à de nombreux sites internet, on trouvera après les références la liste des sites ressources. Nous mentionnerons dans cette partie certains points débattus par les élèves en ECJS, sans développer – faute de place – les contenus des débats. Dans un deuxième temps, nous décrirons certains résultats de l'analyse des séances de sciences. Enfin, nous nous attacherons plus particulièrement à l'enseignement de l'ordre de grandeur.

II. LES NANOTECHNOLOGIES, UN ENJEU CITOYEN

1. Le nanomètre

Intéressons-nous au préfixe *nano*. Ce préfixe est défini légalement en France et dans les 56 pays membres du bureau international des poids et mesures (BIPM) depuis la 11^{e} conférence générale des poids et mesures en 1960 : une nano unité correspond à 10^{-9} unité. Depuis cette conférence, d'autres préfixes ont été rajoutés en 1964, 1975, et en 1991, aussi bien pour des grands nombres que pour des petits nombres, ce qui met en évidence une évolution des besoins dans l'écriture des nombres.

Le nanomètre est l'ordre de grandeur de la dimension de certains atomes. Travailler à cette échelle donne de nouvelles propriétés. Ainsi les effets quantiques commencent à être perceptibles.

Certaines propriétés des matériaux sont liées à la surface, et non au volume. C'est le cas de la réaction chimique entre deux éléments, qui se fait par le contact, et donc par la surface. Considérons un cube de côté c : la masse est proportionnelle au volume, donc à c^3, et la surface est proportionnelle à c^2. Si on considère que le nombre de réactions chimiques est

proportionnel à la surface, on obtient un rapport : nombre de réactions sur masse proportionnel à 1/*c*. Un cube de l'ordre du nanomètre permet donc 1000 fois plus de réactions chimiques rapportées à la masse qu'un cube de l'ordre du micromètre.

En biologie, la dimension des cellules est de l'ordre de grandeur du micromètre. Les nanomatériaux présentent des dimensions bien inférieures et vont pouvoir interférer avec les cellules d'un organisme. Ainsi le nano-argent est utilisé pour ses propriétés antibactériennes.

Actuellement, l'homme est capable de fabriquer des objets dont au moins une dimension est de l'ordre du nanomètre, c'est ce qu'on appelle les nanotechnologies. Du point de vue savant, les nanotechnologies se positionnent d'emblée comme un objet pluridisciplinaire avec des recoupements entre informatique, biotechnologie, etc.

Les questionnements sociaux et éthiques liés aux nanotechnologies sont nombreux, et de différents types, nous présentons certains questionnements fondamentaux, en les reliant à ce qui a été travaillé par les élèves dans le cadre de l'éducation civique, juridique et sociale.

2. Informatique et liberté

Dans la visite du LAAS effectuée par les classes, les chercheurs montrent des expériences sur des objets connectés. Rappelons qu'en 2009 ce type d'objets n'était pas encore commercialisé. Au cours du débat de 2013, les élèves s'interrogeront sur la liberté de l'homme dans un monde très automatisé. Ils se questionneront aussi sur la sécurité informatique. Mais bien d'autres utilisations des nanotechnologies en informatique concernent le citoyen.

Les nanotechnologies ont permis une telle miniaturisation qu'on trouve maintenant des puces électroniques suffisamment petites pour les glisser sous la peau. Ce type de puce sert à marquer les animaux domestiques, ce qui permet d'identifier l'animal, de retrouver ses données médicales, en particulier les vaccinations. L'identification électronique est obligatoire pour ramener sur le territoire de l'Union Européenne un chat, un chien ou un furet.

De l'animal à l'homme, il n'y a aucune difficulté technique. Il est envisagé le marquage de malades difficiles aux USA, l'implantation de puces nanométriques utilisées comme badges pour entrer dans des locaux de la justice mexicaine, et utilisées sur des enfants au Mexique pour lutter contre les kidnappings.

La miniaturisation permet aussi un étiquetage qualifié d'« intelligent ». Ce système, appelé RFID, est composé d'une part d'une radio-étiquette, qui contient un émetteur et des circuits logiques (la puce électronique), et d'autre part d'un lecteur. La radio-étiquette n'a pas besoin d'énergie, celle-ci est apportée par le lecteur au moment de la lecture. Ce système est utilisé actuellement dans l'industrie : pour la gestion des stocks, les cartons d'objets fabriqués peuvent être ainsi marqués et suivis, le respect de la chaîne du froid peut être contrôlé. On imagine aussi des systèmes comme une machine à laver équipée d'un lecteur, et choisissant elle-même son programme en fonction des étiquettes du linge.

Les états européens disposent chacun d'une Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL). La CNIL française donne, dans une fiche pratique, les informations suivantes :

> La communication du 30 octobre de M. Philippe Lemoine, commissaire de la CNIL, sur le sujet de la radio-identification identifie 4 pièges qui concourent à minorer le risque que présente cette technologie en matière de protection des données personnelles et de la vie privée : l'insignifiance [apparente] des données, la priorité donnée aux objets [en apparence toujours vis-à-vis des personnes], la logique de mondialisation [normalisation technologique basée sur un concept américain de « privacy » sans prise en

> compte des principes européens de protection de la vie privée] et enfin le risque de « non vigilance » individuelle [présence et activation invisibles].
>
> Les technologies de radio-identification peuvent être utiles pour des finalités légitimes bien définies, mais, parce que le maillage dense de milliers d'objets qui entoureront une personne pourra ainsi être analysé, de façon permanente (le potentiel de rayonnement d'un RFID est illimité dans le temps car aucune batterie n'est nécessaire), permettant potentiellement le «profilage » des individus, elles font peser sur les individus un risque particulier.

Ce texte est à mettre en regard avec le débat 2013. Les élèves ont débattu de l'espionnage rendu possible par la miniaturisation des caméras ; l'insignifiance apparente des données se retrouve dans ce qu'ils expriment. Signalons que la CNIL fournit des documents pour les enseignants de collège. Il nous semble qu'il y a ici un travail conséquent à faire pour la formation du citoyen.

3. Les risques sanitaires et environnementaux

Nous nous appuyons ici sur de la documentation issue du site VeilleNanos. Ce site dépend de l'association de veille et d'information civique sur les enjeux des nanosciences et des nanotechnologies (AVICENN), dont l'objectif est de proposer une information transversale et indépendante sur les enjeux sociétaux soulevés par les nanotechnologies.

La fiche de ce site sur les portes d'entrées des nanomatériaux dans le corps humain indique qu'on distingue trois voies d'exposition potentielle aux nanomatériaux.

La première voie est celle de l'inhalation, qui concerne particulièrement les personnes qui travaillent dans les nanomatériaux.

La deuxième voie est celle du contact cutané par le biais des cosmétiques, comme le dioxyde de titane dans les crèmes solaires, mais aussi par les vêtements. Un exemple est donné par le nano-argent qui est utilisé pour ses propriétés antibactériennes dans la fabrication des chaussettes. La barrière cutanée est plus facile à franchir à l'échelle nanométrique qu'à l'échelle micrométrique.

La troisième voie est celle de l'ingestion. Certains additifs alimentaires contiennent des nanoparticules, comme les additifs E550, E551 (dioxyde de silice), utilisés pour les propriétés antiagglomérantes ou l'additif E 171 (dioxyde de titane) utilisé pour donner un aspect plus blanc et allonger la durée de conservation de certains bonbons. Les nanomatériaux sont utilisés dans les emballages alimentaires pour améliorer la conservation, la transparence, mais aussi l'écoulement des sauces. La question de la migration de nanoparticules dans l'aliment emballé n'est pas résolue.

La France est le premier pays à se doter d'un répertoire des nanomatériaux, R-Nano. Il s'agit du décret n° 2012-232 du 17 février 2012 ; son entrée en vigueur devait avoir lieu en 2013, elle a été effective en mai 2014. En voici un extrait :

> Art. R. 523-13. – Chaque fabricant, importateur et distributeur d'une substance à l'état nanoparticulaire, en l'état ou contenue dans un mélange sans y être liée, ou de matériaux destinés à rejeter cette substance dans des conditions normales ou raisonnablement prévisibles d'utilisation effectuent la déclaration exigée à l'article L. 523-1 dès lors qu'il produit, importe ou distribue au moins 100 grammes par an de cette substance.

On retrouve ces préoccupations dans les débats réalisés en ECJS. La question de l'impact environnemental des objets issus des nanotechnologies est une question qui prendra une place importante dans le débat de 2013.

4. L'hybridation avec le vivant.

On rencontre l'imitation du vivant en médecine dans la vectorisation des médicaments. Il est possible d'imiter les flagelles de bactéries pour que le médicament puisse être transporté jusqu'à la cellule malade.

Un premier questionnement a été soulevé dans la science-fiction, en imaginant la prolifération de nano robots. La gelée grise est une idée apparue dans un roman, *Engines of Creation, the Coming Era of Nanotechnology* publié en 1986 par Eric Drexler et traduit en français en 2005. Il s'agit de nano machines capables de fabriquer elles-mêmes des nano machines. Leur nombre pourrait croître de façon exponentielle, et finir par tout dévorer pour se reproduire. La gelée grise est la masse formée par ces nano machines. Un autre auteur, Michel Crichton, dans *La Proie,* utilise le concept de gelée verte. Cette fois-ci, il s'agit de nano robots fabriqués à partir de l'hybridation d'organismes vivants et de matériaux non organiques qui se répliquent de façon non contrôlée.

Les élèves ont rencontré la notion de gelée grise dans l'étude d'un roman en français. Ils l'évoqueront dans le débat de 2011.

Loin de la fiction, un rapport du Sénat (Lorrain & Raoul 2004, disponible en ligne) signale des risques éthiques liés à l'emploi détourné des nanotechnologies, non pour soigner, mais pour augmenter les performances humaines. On trouvera des exemples au chapitre trois de ce rapport, en voici un extrait :

> o Une équipe californienne travaille sur une prothèse électronique destinée à remplacer un hippocampe défaillant chez certains malades amnésiques. Lorsqu'on sait que l'hippocampe est une partie du cerveau indispensable à la mémorisation, on peut imaginer que certains pensent déjà à l'implantation d'une puce donnant accès à une mémoire illimitée. Ces électrodes, qui agissent si bien sur certaines zones du cerveau, peuvent aussi, demain, stimuler d'autres zones, sièges de plaisir. Et laisser croire à de proches paradis bioniques artificiels […]
>
> o Enfin, l'action d'électrodes sur des zones précises du cerveau permettrait de camoufler parfaitement le dopage sportif, puisque la surproduction de molécules endogènes, telles que les endorphines ne serait due qu'à une stimulation cérébrale.

On peut penser aussi à des applications d'ordre militaire, en augmentant différentes aptitudes des soldats. Ici, l'ordre de grandeur nanométrique permet d'agir sur les aspects biologiques du corps humain, plus particulièrement sur le cerveau. Ce point ne sera pas évoqué dans les débats. Néanmoins, il nous semblait important de le mentionner, dans la mesure où cette notion d'homme augmenté commence à faire débat dans la presse.[171]

III. LES SEANCES DE SCIENCES

1. Le déroulement des séances de sciences

Les deux premières séances ont été codirigées par les professeures de mathématiques et physique-chimie. La dernière séance, d'une durée double, a été codirigée par les professeures de physique-chimie et technologie.

Dans la première séance, les élèves ont eu à apporter « quelque chose de petit », la consigne est donnée dans ces termes par les professeures. Les élèves vont commencer par mesurer ce qu'ils ont apporté, ce qui permettra d'établir un tableau donnant des objets et les dimensions correspondantes. Ensuite, ils regarderont un dessin animé sur les nanotechnologies. Ce film (Martin Cerclier & Vieu 2009) est destiné à des collégiens et

[171] On trouvera des exemples dans des journaux comme Paris-Match, Les Échos, etc.

lycéens de 10-16 ans, il a été écrit par des chercheurs participant au dispositif. Un retour sera fait ensuite sur les objets mesurés.

Dans la seconde séance, il s'agit de représenter certains des objets apportés par les élèves sur un axe gradué. Après avoir constaté que le choix d'une échelle permettant de tout placer est rendu impossible par l'étendue des différentes mesures, les professeures amènent les élèves à placer les objets dans un tableau appelé « tableau de conversion » - même s'il ne servira pas à cet usage-. Nous reproduisons ci-dessous un tableau du même type.

dam	*m*	*dm*	*cm*	*mm*			*µm*			*nm*

***Figure 1**- Tableau dit de conversion*

Cette séance se termine par un exercice sur un énoncé extrait du film : il est demandé aux élèves de calculer la dimension d'un atome de carbone sachant que le rapport de taille entre la Terre et une balle de tennis est le même que le rapport entre la balle de tennis et l'atome de carbone. La dimension concernée est le rayon, ce qui n'est pas précisé dans le film.

Dans la troisième séance, un des chercheurs du LAAS est présent. Les élèves devront d'abord évaluer la longueur d'un élément sur des images issues d'un microscope, les différentes images pouvant être issues de différents types de microscopes. Ainsi dans l'image en figure 2, les élèves ont eu à évaluer la longueur de ce qui est représenté par le trait rouge sur l'image, l'échelle étant en blanc sur celle-ci (en bas de l'image, la qualité de celle-ci ne permet pas une meilleure représentation).

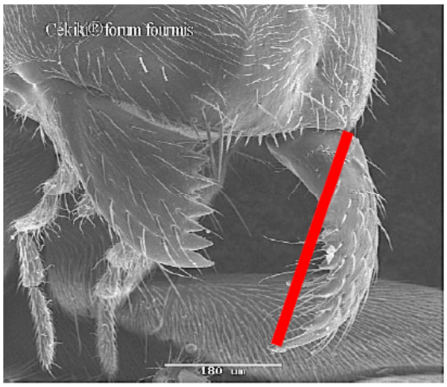


***Figure 2**- Une des images manipulées*

Ensuite, les élèves auront à reconnaître ce qui est représenté, en s'appuyant sur l'ordre de grandeur de ce qu'ils ont évalué. Pour finir, le chercheur présente son travail de recherche aux élèves.

Nous avons analysé des praxéologies mises en place dans la classe. Certaines montrent des difficultés d'articulation entre les disciplines visibles au niveau de la technique, c'est celles que nous présentons dans cette partie.

2. *La mesure des objets apportés*

Lors de la première séance de sciences, les élèves ont eu à mesurer les objets de petite taille qu'ils ont apportés. Plusieurs problèmes concrets se sont manifestés.

Premier problème : un élève a apporté un filament de tabac. Est-ce la longueur ou le diamètre qu'il faut considérer ? Cette première difficulté a été résolue directement par les professeures, la consigne est donnée que, lorsqu'il y a plusieurs dimensions possibles pour un objet, on s'intéresse à la plus petite. Il ne sera jamais explicité que la seule grandeur considérée est la longueur.

Second problème : la technique de mesure. Les élèves disposent uniquement de double-décimètres gradués. Cet instrument n'est pas commode pour mesurer avec une précision inférieure au millimètre. De plus, il n'est pas adapté pour la mesure d'objets de forme sphérique comme la perle de cartouche d'encre apportée par un élève. Or il existe un outil de mesure adapté, qui est disponible – en principe – dans les collèges français : il s'agit du pied à coulisse. Celui-ci est mentionné dans le programme de technologie de la classe de 6^{e} (élèves de 11-12 ans, 1^{e} année de collège).

Par ailleurs, les comptes rendus montrent qu'il a pu être utilisé une technique d'estimation « à vue d'œil », comme le montre l'extrait du compte rendu :

> Bon, la taille du grain de sel, alors il l'avait estimé à zéro virgule zéro, zéro, un millimètre, je crois qu'il a vu un peu petit, on va dire zéro virgule un.

Nous voyons apparaître une première difficulté d'articulation entre les disciplines : les professeures de mathématiques et sciences physique et chimique n'ont pas questionné la technique de mesurage et n'ont pas utilisé la richesse apportée par l'enseignement de technologie.

En effet, le type de tâches « mesurer un objet » n'a pas été travaillé comme cela pourrait l'être en cours de technologie. La technique décrite très schématiquement par la liste d'actions suivante « placer l'objet dans un pied à coulisse et lire la mesure sur la graduation du pied à coulisse » est pratiquée dans cette discipline. La technologie (au sens de la TAD) associée à cette technique comporte l'existence du pied à coulisse. Il s'agit ici d'un élément de technologie pratique □^{p} comme ont pu le présenter Castela et Romo-Vásquez (2011, p. 82) dans leurs travaux sur l'enseignement de la transformée de Laplace en automatique et en mathématiques.

Nous avons pu remarquer aussi que la professeure de physique-chimie n'utilise pas pleinement le contenu du programme de sa discipline : l'incertitude de mesure est en effet au programme de 4^{e} (élèves de 13-14 ans, 3^{e} année de collège), la classe devait donc l'avoir travaillé auparavant. Cette activité de mesurage semble un prétexte pour travailler la suite, et n'a pas de raison d'être visible. L'explication de ce manque de relation avec l'enseignement de la technologie réside peut-être dans le rôle assigné à l'activité de mesurage, qui sert plutôt à introduire ce qui va suivre, et ne semble pas être un enjeu véritable de l'étude menée.

3. Les différentes techniques de calcul de la proportionnalité

Dans les deux dernières séances, la classe a été amenée à faire des calculs liés à des changements d'échelle.

La première fois, la professeure de mathématiques est présente, et va guider l'étude. Lors de la deuxième séance, un problème de calcul de proportionnalité a été donné aux élèves : il s'agit de déterminer la taille d'un atome de carbone, sachant que le rapport de taille entre une balle de tennis et l'atome de carbone est le même qu'entre la taille de la Terre et d'une balle de tennis. La vidéo permet de voir que la trace écrite au tableau n'est pas celle du produit en croix, mais semble s'appuyer sur un calcul de coefficient de proportionnalité.

La seconde fois, la classe retrouve le calcul d'échelle, à partir des images issues de divers microscopes. Les élèves doivent calculer la longueur réelle d'un élément apparaissant sur une image, en le mesurant, et en connaissant l'échelle. Les professeures de sciences physiques et chimiques, et de technologie imposent le produit en croix, ce qui pose problème à certains élèves, comme Laure :

> Laure : Pour le produit en croix ça fait en même temps, j'ai un petit peu pareil.
>
> Professeure de physique : J'ai pas compris Laure.
>
> Professeure de technologie : Elle veut économiser l'écriture du produit en croix.

Actuellement, le produit en croix est une technique très répandue hors du champ de l'enseignement des mathématiques. Roditi (2014) dans ses différents travaux sur l'enseignement du calcul de doses médicamenteuses dans la formation aux soins infirmiers a montré le poids de cette technique et les croyances des formateurs à ce sujet. Nous retrouvons ici ce poids du produit en croix.

IV. LA NOTION D'ORDRE DE GRANDEUR

1. L'ordre de grandeur en mathématiques et en sciences physiques

Vignes et Bronner (2005) ont mis en évidence les difficultés d'articulation entre physique et mathématiques dans les anciens programmes pour l'enseignement des « mesures et ordres de grandeur » en classe de 2^{nde} (élèves de 15-16 ans).

La notion d'ordre de grandeur était alors présente conjointement dans les deux programmes de physiques et de mathématiques. Apparaissaient alors dans les classes des définitions différentes. En mathématiques, l'ordre de grandeur d'un réel x écrit sous la notation scientifique $x = a \times 10^n$ s'obtenait en arrondissant a à l'entier le plus proche (entier à un seul chiffre). En physique, l'ordre de grandeur de x était défini comme la puissance de 10 la plus proche de x. Ainsi 394 avait pour ordre de grandeur 400 en mathématiques, et 100 en physique.

Actuellement, en physique-chimie, la notion d'ordre de grandeur n'est évoquée que dans le préambule du programme. Elle n'est plus définie, mais les recherches sur internet montrent une relative unanimité sur la définition utilisée par les professeures de sciences physiques et chimiques, correspondant à l'ancien programme de 2^{nde}. Une étude serait à mener sur l'utilisation de l'ordre de grandeur en physique, alors que cette notion n'apparait plus dans le corps du programme.

La notion d'ordre de grandeur apparait dans les programmes de mathématiques actuels au collège, programmes disponibles sur le site du ministère (MEN 2008). Ainsi les ordres de grandeur sont placés dans le domaine « nombres et calculs ». Voici une définition rapportée par une étudiante, réalisant un stage d'observation dans une classe de 6^e (élèves de 11-12 ans, 1^e année de collège) :

> Calculer un ordre de grandeur d'une somme, c'est trouver mentalement un nombre "proche" de cette somme.

Dans ce programme, l'ordre de grandeur apparait aussi dans le bandeau de présentation du domaine « grandeurs et mesures » pour la classe de 6^e (élèves de 11-12 ans, 1^e année de collège) :

> Il est important que les élèves disposent de références concrètes pour certaines grandeurs et soient capables d'estimer une mesure (ordre de grandeur).

On observe ici un autre concept : l'association d'une référence et d'une dimension. Quand on évoque l'ordre de grandeur, c'est souvent de cela qu'il est question. Un extrait du compte rendu de la deuxième séance de sciences montre bien cette association en action :

Professeure de mathématiques : Quel ordre de grandeur pour la cellule ?

Élève : zéro virgule… d'autres élèves interviennent

Élève : Ah bon ? Un millimètre ?

Professeure de mathématiques : Micromètre.

Élève : Ah bon ! Je me disais aussi.

L'élève a bien en tête une association entre une longueur et un objet de référence. Le micromètre convient, ce n'est pas le cas du millimètre. La question de la professeure de mathématiques a pour objectif de vérifier cette association. L'analyse des séances montre que l'un des grands objectifs des séances de sciences a été de créer cette construction d'une association entre des objets, très petits, qui vont servir de référence et l'ordre de grandeur.

2. *Un apport des sciences de la vie pour l'ordre de grandeur : l'échelle de taille*

Les professeurs de sciences de la vie et de la terre (SVT) sont confrontés à la difficulté de faire saisir aux élèves des dimensions hors de l'échelle humaine. Dans l'extrait du compte rendu ci-dessus, nous avons noté qu'un élève a bien en tête l'ordre de grandeur de la cellule. La notion de cellule est au programme des SVT dès le début du collège (classe de 6^{e}, élèves de 11-12 ans, 1^{e} année de collège).

Pour aider à la compréhension des différentes dimensions, il est usuel dans cette discipline d'utiliser un graphique appelé échelle de taille, ou échelle des dimensions. Nous donnons ci-après une échelle des dimensions (figure 3), qui a été utilisée dans un document à propos des nanotechnologies. Cette illustration est extraite d'une page qui fournit du rapport du Sénat que nous avons cité précédemment (Lorrain & Raoul 2004). Cette image est placée dans l'introduction, pour illustrer la taille nano.

Les échelles de dimension sont construites à partir d'un axe gradué. À chaque graduation est associée une puissance de 10 – on obtient donc, en fait, une échelle logarithmique. Sur cet axe, sont positionnées des images représentant des objets de référence. Ainsi, on peut voir sur la figure 3, à gauche, une fourmi, un cheveu, un globule rouge et à droite, un circuit intégré et un nanotube de carbone.

Lors de la troisième séance de sciences, le mur est orné d'une frise, reproduisant le décor du laboratoire dans le dessin animé. Cette frise (figure 4) est du même type que l'échelle des dimensions : il s'agit d'associer une référence, donnée sous forme illustrée à un ordre de grandeur de longueur.

Dans cette troisième séance de sciences, les élèves ont à manipuler des images issues de différents microscopes. Ils auront ensuite à placer ces images sur la frise, en correspondance avec l'ordre de grandeur.

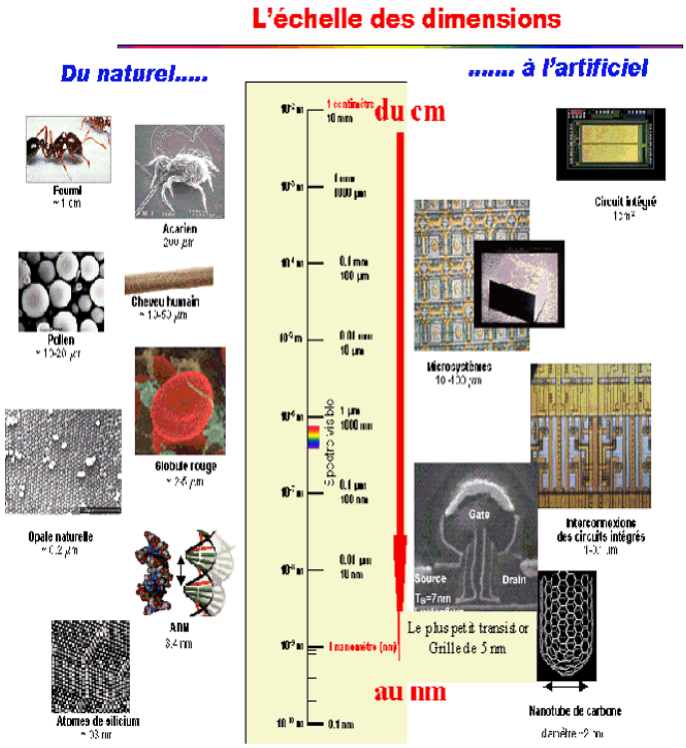


***Figure 3**- Un exemple d'échelle des dimensions*

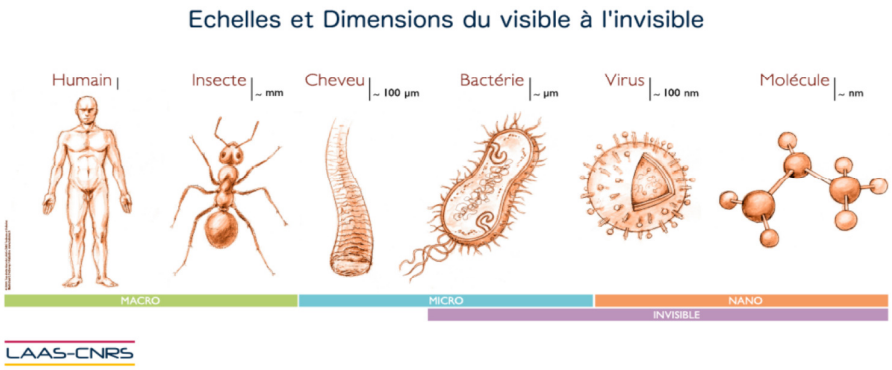


***Figure 4-** Frise décorant la salle de classe*

Un point est intéressant à noter : on passe de l'insecte au cheveu en divisant par 10, du cheveu (100 µm) à la bactérie (1 µm) en divisant par 100. De la bactérie au virus, on divise à nouveau par 10, et du virus à la molécule, on divise par 100. Les rapports ne sont pas conservés. L'échelle n'est pas vraiment logarithmique. Il semble plus important de faire le lien entre objet et ordre de grandeur que de respecter les rapports des longueurs. On trouve parfois sur des documents de vulgarisation scientifique l'utilisation de rapports de longueurs pour essayer de donner une idée de l'ordre de grandeur de tel ou tel objet présenté. En comparant avec la frise présentée ici, nous pouvons nous demander si cette utilisation de rapports de longueurs est pertinente.

V. CONCLUSION

Le dispositif mis en place a eu, dans ses objectifs, la rencontre avec l'ordre de grandeur nanométrique. Nous avons vu que cet ordre de grandeur est un point essentiel pour comprendre les enjeux des nanotechnologies. Pour que la société puisse débattre sur les nanotechnologies, et prendre démocratiquement des décisions sur leur usage, il est indispensable que le citoyen puisse comprendre ce qui se joue à l'ordre de grandeur nanométrique. Or l'analyse didactique du dispositif montre que la notion d'ordre de grandeur est difficile à appréhender.

Les professeures qui sont intervenues dans les séances analysées ont modifié leur façon d'enseigner les nanotechnologies. Cette nouvelle forme permet-elle de mieux appréhender la notion de nano ? L'aspect théorique reste à approfondir : comment se jouent les liens entre les disciplines ? Quel est l'effet de la présence des chercheurs, comment se joue la transposition didactique dans ce cadre ?

REFERENCES

Brossais E., Panissal N. (2013) Nouvelles formes d'interaction science-société au collège : le cas de l'éducation citoyenne aux nanotechnologies. *Les dossiers des sciences de l'éducation. Les sciences et crises contemporaines*, 29, 81-108

Castela C., Romo Vázquez A. (2011) Des mathématiques à l'automatique : étude des effets de transposition sur la transformée de Laplace dans la formation des ingénieurs. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 31(1), 79-130.

Martin Cerclier C., Vieu C. (2009) DVD, A precious envelope for budding scientists. Film d'animation, *Heladon*, Toulouse.

Panissal N. (2014) *Apprentissage des savoirs socio-éthiques à travers le débat sur une Question Socialement Vive : l'exemple de l'éducation citoyenne aux nanotechnologies.* Mémoire de synthèse pour l'habilitation à diriger les recherches, tome 1, Université de Toulouse, 270 pages.

Roditi E. (2014) Le calcul de doses médicamenteuses. Pratiques professionnelles et choix de formation en soins infirmiers. *Recherches en didactique des mathématiques* 34(2/3), 103-132.

Vignes M., Bronner A. (2005) *Ruptures et continuités : mesures, nombres et ordres de grandeur en seconde.* Actes du 5e colloque international Recherche(s) et Formation «Former des enseignants-professionnels, savoirs et compétences», Nantes.

SITES CONSULTÉS

CNIL, fiche pratique non datée *http://www.cnil.fr/documentation/fiches-pratiques/fiche/article/la-radio-identification/* (site consulté le samedi 29 août 2015)

Journal officiel de la République Française, n° 0043 du 19 février 2012, page 2863, *http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000025377246&categorieLien=id*

Lorrain J.-L., Raoul D., (2004) Rapport sur « Nanosciences et progrès médical », site du Sénat *http://www.senat.fr/rap/r03-293/r03-2932.html*, (page consultée le samedi 31 janvier 2015)

MEN (2008) Programmes des enseignements de mathématiques, de physique-chimie, de sciences de la vie et de la Terre, de technologie pour les classes de sixième, de cinquième, de quatrième et de troisième du collège, disponibles sur *http://www.education.gouv.fr/cid22120/mene0817023a.html*.

VeilleNanos : *http://veillenanos.fr/wakka.php?wiki=PagePresentation* (site consulté le vendredi 28 août 2015)