HAL
open science

Le concept du NanoLearner : les mains dans le Nanomonde du grand public à l'Université

Florence Marchi, Julien Castet, Sylvain Marlière, Joël Chevrier, Annie Luciani, Jean-Loup Florens

To cite this version:

Florence Marchi, Julien Castet, Sylvain Marlière, Joël Chevrier, Annie Luciani, et al.. Le concept du NanoLearner : les mains dans le Nanomonde du grand public à l'Université. CETSIS 2010 - Colloque sur l'enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes, Mar 2010, Grenoble, France. pp.77. hal-00524788

HAL Id: hal-00524788

https://hal.science/hal-00524788v1

Submitted on 8 Oct 2010

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.

Le concept du NanoLearner : les mains dans le Nanomonde du grand public à l'Université

Florence Marchi[*1], Julien Castet[2], Sylvain Marlière[2], Nicolas Castagné[2], Joel Chevrier[1], Annie Luciani[2], Jean Loup Florens[2]
[*] florence.marchi@grenoble.cnrs.fr
[1] Institut Neél, CNRS et Université Joseph Fourier Grenoble, BP 166, 38042 Grenoble Cedex 9, France
[2] ICA-ACROE et Grenoble INP, 46 Av. Fe´lix Viallet, 38031 Grenoble Cedex, France
,

RESUME : Dans le cadre d'une part de la mise en place de l'enseignement pratique des Nanosciences au niveau Licence et Master et d'autre part de la sensibilisation du « grand public » au Nanomonde, ce papier présente le développement d'une plateforme interactive et muti-sensorielle appelé le « NanoLearner ». Cette plateforme associe un système à retour d'effort connecté avec des nano-scènes virtuelles. Elle permet d'adresser la problématique de la nanomanipulation mais aussi la notion complexe de nano-contact. Son apport a été évalué grâce à des tests de compréhension. Une version à visée universitaire est à présent disponible sur la plateforme d'enseignement pratique Nanomonde du CIME-Nanotech.

Mots clés : dispositif pédagogique multi-sensoriel, nanophysique, évaluation du dispositif, système à retour d'effort

1 INTRODUCTION

Les Nanotechnologies et les Nanosciences se développent au sein des laboratoires de recherche ainsi que dans les départements de R&D des entreprises et industries dans le monde entier. Des révolutions sont attendues grâce aux avancées des nanotechnologies et nanosciences dans divers domaines : nanoélectronique, médecine, énergies renouvelables, la protection de l'environnement…

Les applications issues des nanotechnologies reposent sur la particularité de mettre à profit les propriétés très spécifiques et sensibles d'éléments nanométriques. D'ailleurs la définition communément admît répondant à la question « qu'est qui est nano ? » est : « un système est considéré comme 'nano' s'il utilise un élément dont une des dimensions est inférieure à 100nm [1] ». En effet lorsque les dimensions d'un objet atteignent cette échelle, le rapport surface sur volume augmente, l'effet de la gravité devient alors négligeable devant les effets de surface tels que l'adhésion, la friction ou encore les effets de charges électriques (forces électrostatiques). Les règles et lois physiques/chimiques régissant le nanomonde sont donc très éloignées de celles régissant le monde à échelle humaine. Au nanomètre, les murs deviennent « collants », la notion de haut et de bas s'estompe. De plus comme la taille des éléments actifs dans les composants issues de la nanoélectronique et des nano-capteurs s'approche de celles briques élémentaires de la vie à savoir des bactéries, des virus ou encore de l'ADN, l'idée de la convergence des savoirs de différents domaines scientifiques s'impose. Néanmoins cette convergence s'accompagne de l'émergence de questionnement sur l'innocuité des nouveaux dispositifs pour l'espèce humaine, animale voir pour la planète entière. Ainsi comme pour l'industrie nucléaire ou agroalimentaire (via les OGM par exemple), les Nanotechnologies soulève des questions éthiques et donc des débats de sociétés. Pour aider l'ensemble des citoyens à se forger leur propre opinion sur cette technologie nouvelle, il nous a semblé judicieux de proposer un instrument capable de faire comprendre rapidement et instinctivement les différences majeures entre le monde macroscopique et nanométrique. Dans cet esprit, nous avons développé le concept du « NanoLearner » qui combine la réalité virtuelle couplée à une plateforme muti-sensorielle (retours haptique, visuel et sonore) pour créer un nanomonde virtuel interactif dans lequel l'utilisateur s'immerge. Ainsi les sens humains sont projetés à l'échelle nanométrique et on peut percevoir les nano-objets mais aussi interagir avec eux en temps réel.

Le concept du « NanoLearner » s'est décliné en deux versions distinctes mais complémentaires, une à visée « grand public », l'autre à visée plus pédagogique destinée principalement au niveau Licence et Master.

2 LE « NANOLEARNER » GRAND PUBLIC

L'idée d'appliquer la réalité virtuelle couplée à des interfaces mutli-sensorielles pour illustrer le nanomonde de manière interactive, date de plusieurs années maintenant [2]. Cependant elle est restée confinée au domaine de la recherche en nano-robotique [3] ou science de l'éducation [4] mais n'avait jamais été à notre connaissance, adaptée pour être diffusée auprès du grand public.

2.1 Le Contexte : l'exposition « Nanotechnologie : Infiniment petit, maxi défis »

En 2007 le CCSTI de Grenoble a élaboré une exposition sur les Nanosciences et Nanotechnologies pour présenter les différents aspects de ces domaines au grand public. En complément des moyens traditionnels de présentation propres aux expositions (affiches, écrans tactiles, maquettes…), il a été décidé de proposer un poste instrumental spécifique et interactif basé sur le couplage d'un système à retour d'effort avec une nanoscène virtuelle illustrant la notion de contact à

l'échelle nanométrique. Ainsi chaque visiteur avait l'opportunité d'expérimenter via ses sens une notion clés du nanomonde à savoir le nano-contact, en quelques minutes sans avoir besoin de connaissance préalable. Cependant afin d'accrocher le visiteur et lui transmettre cette notion centrale d'attraction/répulsion à l'échelle nanométrique dans un laps de temps restreint et en auto-formation, certaines contraintes techniques et pédagogiques se sont imposées. Au point de vue technique, le système devait être robuste, fiable, facile à monter-démonter d'un lieu d'exposition à l'autre et sécuriser. D'un point de vue éducatif, il s'agissait plus de faire découvrir, percevoir un phénomène central de cette échelle à savoir les interactions à longues et courtes portées plutôt que permettre une compréhension complète du phénomène.
Pour répondre à ces deux challenges et pour garantir la qualité de l'échange énergétique entre l'humain et la matière, nous avons choisi de travailler avec un système à retour d'effort donc les performances en terme de bande passante, de raideur apparente, de précision dans le positionnement soient bien supérieures aux systèmes commerciaux largement répandus [5].

2.2 Principe du Nanomanipulateur multi-sensoriel « Grand Public »

La station interactive présente deux scènes virtuelles (figure 1). Dans la première l'utilisateur contrôle un bâton via le système à retour d'effort, il ressent et entend le contact dur classique et complètement réversible via le retour haptique et sonore. Dans la deuxième scène il contrôle une sonde AFM (Microscope à Force Atomique), qui est l'équivalent d'un nano-bâton, il ressent, entend et voit le contact progressif induit par les interactions à longues distances qui l'attirent peu à peu pour ensuite le happer de manière brusque lorsque la distance entre la pointe et le nano-bâton franchit une distance seuil, c'est ce que les microscopistes appellent le « saut au contact » ; le nano-contact présentant un phénomène d'hystérésis lié à la non-linéarité de la force d'interaction pointe-surface, le nano-bâton reste collé à la surface jusqu'à que l'utilisateur tire assez fort sur le système haptique pour contrebalancer la force d'adhésion et donc provoquer le décollage brusque de la sonde, effet appelée « saut au décrochage » [6].

fig 1 :gauche) la plateforme NanoLearner grand public ; droite) représentation visuelles des deux scènes virtuelles interactives, l'une représente une surface de bois, l'autre une nanosurface sondée grâce à une sonde AFM

Dans ces scènes la raideur de la surface est très grande devant celle de la sonde AFM et l'interaction implantée est de type de Learnnard-Jones linéarisée (figure 2).
Cette simplification est nécessaire pour assurer la stabilité permanente du système quelque soit la manière dont est manié le système à retour d'effort (avec douceur ou brutalité, vite ou lentement par l'utilisateur). Evidemment l'utilisateur ne peut pas changer la valeur des paramètres de la scène virtuelle.

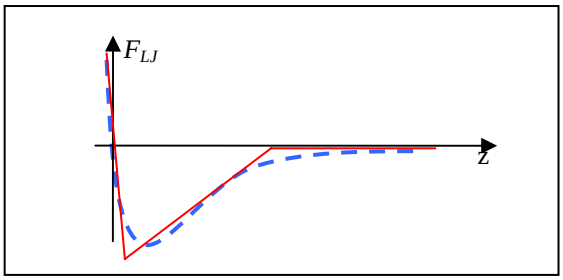

fig 2 :Représentation de la variation de la force de Lennard-Jones en fonction de la distance

Le choix d'illustrer la notion de nano-contact dont la particularité est de posséder une partie attractive puis répulsive n'est pas fortuit. En effet, ce phénomène est mis à profit dans un grand nombre de cas que soit dans l'industrie de la microélectronique pour fabriquer des substrat SOI (Silicon On Insulator) en passant par la chimie ou bien dans la nature via certains insectes ou très petits animaux tel le Gecko [7] qui sont capables de marcher au plafond grâce à l'utilisation de la partie attractive du nano-contact. C'est donc un phénomène emblématique pour appréhender le nanomonde.

2.3 Résultats et Analyse

A ce jour, le nanomanipulateur grand public est toujours en activité (actuellement au CCSTI de Bordeaux avril 2009 – janvier 2010) au sein de l'exposition « Nano ». Il a été utilisé par plus de 10000 personnes de Grenoble à Athènes an passant par la cité des sciences à Paris et le CERN à Genève. Peu de maintenance fut nécessaire et les techniciens en charge de l'exposition sont autonomes pour son montage/démontage et sa mise en route.
D'un point de vue de son utilisation par les visiteurs, nous avons constaté grâce à un compteur, que les personnes passaient environ cinq minutes à manipuler l'instrument.
A ce jour une analyse plus fine du retour des visiteurs sur cet instrument est en cours. Cependant il est à noter que grâce à lui, un nombre très élevé de personnes ont pris conscience que notre interaction quotidienne aux objets n'est pas universelle mais dépend de l'échelle considérée illustrant ainsi le message estimé comme fondamental par Richard Feyman [8] : « I*f, in some cataclym, all of scientific knowledge were to be destryed, and only one sentence passed onto the next generation of creatures, what statement would contain*

the most information in the fewest words ? I believe is the atomic hypothesis that : All things are made of atoms-little particles that move around in perpetual motion, attracting each other when they are a little distance apart, but repelling upon being squeezed into one another ».

3 LE « NANOLEARNER » UNIVERSITAIRE

En 2004, le CIME-Nanotech [9] a inauguré la plateforme Nanomonde destinée à l'enseignement pratique des nanosciences et nanotechnologies à travers l'utilisation des microscopies en champ proche telles que le STM (Microscope à effet tunnel) et l'AFM (microscope à force atomique). Depuis ce concept a été repris et adapté au sein d'autres centres du CNFM (Lille, Toulouse, Rennes, Paris) et leur activité est l'objet d'une communication spécifique. Néanmoins si les microscopes en champ proche permettent au cours d'un TP de caractériser la topographie, les propriétés électriques ou magnétiques des surfaces et des nano-objets qui y sont supportés, elles ne sont pas assez versatiles ni interactives pour adresser de manière pédagogique les thématiques de nanomanipulation et de caractérisation fine des interactions pointe-échantillon en fonction des propriétés élastiques de la surface. En effet, les seuls retours disponibles sur les AFM et STM commerciaux sont visuels sous forme soit d'image en 3D soit sous forme de courbes (courbe relative à l'interaction pointe-échantillon en fonction de la distance). L'interprétation et donc la compréhension de ces courbes requièrent des connaissances préalables sur le fonctionnement de tels microscopes mais aussi un bagage théorique non négligeable. De plus d'un point de vue pratique durant un TP de 4h ou 8h, il est chronophage de changer régulièrement d'échantillons et/ou de sondes pour tester une large gamme de situations.
Pour remédier à cette limitation, nous avons testé la pertinence du nano-manipulateur multi-sensoriel pour traiter ces deux thématiques. Deux nano-scènes virtuelles spécifiques ont été développées : la première en une dimension (1D) focalise sur la courbe de force pour explorer la richesse des différentes situations de nano-contact, la deuxième en 2D focalise sur la manipulation d'un nano-objet en interaction de type Lennard-Jones avec une surface.

3.1 Evaluation de la multi-sensorialité

Lors de ces premiers TP proposés dès 2005 sur un prototype issu des travaux de recherche de la collaboration entre le laboratoire ICA- Informatique et Création Artistique- et le groupe champ proche de l'Institut Néel, nous avons évalué l'apport des différents retours sensoriels pour la compréhension fine du phénomène de contact à l'échelle nanométrique. En effet, il nous est apparu crucial de déterminer l'interêt des retours visuel et sonore par rapport au retour haptique qui en première approximation peut paraître le seul pertinent.

Cette évaluation s'est faite sur une cinquantaine d'étudiants de niveau Licence 3 ou Master 1 à l'aide d'un questionnaire portant sur la détection des phases clés dans la courbe de force en fonction du retour sensoriel activé ou de la combinaison de plusieurs retours. En pratique chaque étudiant pilotait via la manette du système haptique la sonde AFM virtuelle (les raideurs de la sonde virtuelle et celle de la surface étaient fixes) mais seulement certains retours sensoriels étaient actifs comme le résume le tableau de la figure 3.

N°	1	2	3	4	5	6	7
Force	ON	*OFF*	*OFF*	ON	*OFF*	ON	ON
Sound	*OFF*	ON	*OFF*	ON	ON	*OFF*	ON
Vision	*OFF*	*OFF*	ON	*OFF*	ON	ON	ON

Fig 3 : présentation des différentes combinaisons de retours

En suivant ce protocole, quatre questions ont été posées aux étudiants :
Q1a : Est-ce que vous détecter une variation rapide de l'intensité de la force durant la phase d'approche ?
Q2a : Est-ce que vous détectez différentes natures de force durant la phase d'approche ?
Ces deux questions sont aussi posées pour la phase de retrait (*Q1b* et *Q2b*) et les réponses correctes sont OUI.
Q3 : Est-ce que le saut au contact a lieu pour la même déformation du levier que pour le saut au décrochage ?
La réponse correcte est NON.
Q4 : Détectez-vous une différence dans l'intensité maximale de la force attractive entre l'approche et le retrait ? La réponse correcte est OUI, car la force nécessaire pour décoller la pointe est plus élevée que celle requise lors du collage.
Les résultats de cette évaluation sont résumés dans les statistiques présentées ci-dessous.
La figure 4 relative aux questions *Q1a* et *Q1b* révèle que:

- ❖ Environ 50% des étudiants répondent correctement grâce à un seul retour activé, peu de différences sont observables entre chacun des trois retours.
- ❖ Certaines combinaisons entre deux retours améliorent de manière significative le taux de réponse correcte (jusqu'à 80%) à savoir le retour haptique couplé au retour sonore. Néanmoins, toutes les combinaisons ne sont pas équivalentes : haptique-son est la meilleure suivit de haptique-image.
- ❖ La combinaison des trois retours obtient le même score que celle haptique-son.
- ❖ Le pourcentage de réponse 'non défini' qui correspond à l'incapacité de l'étudiant à trancher entre « oui » et « non », augmente lorsque le retour haptique n'est pas utilisé.

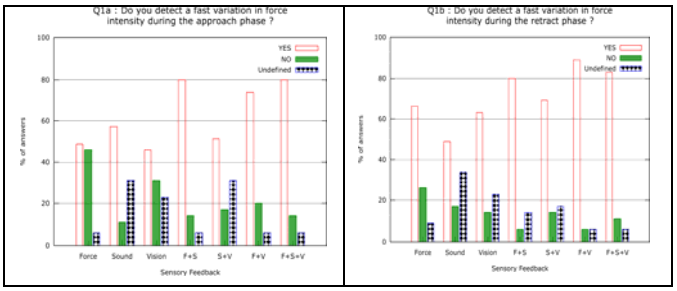

fig 4 : taux de réponses correctes relatives aux questions Q1a et Q1b en fonction des retour(s) sensoriel(s) activé(s)

Ces observations révèlent deux points remarquables. Premièrement que la faible variation de l'intensité de la force à l'origine du « saut au contact » est mieux détectée grâce à la variation sonore (55%) que par le toucher ou la visualisation (fig 4a). Au contraire lors du saut au décrochage durant la phase de retrait où la variation de la force (fig 4b) est bien supérieure à celle de la phase d'approche, le retour haptique ou visuel donnent de meilleures réponses (60% contre 45%). Cette différence tend à montrer que le retour sonore est le plus performant pour détecter les petites variations de force.

A partir des statistiques de la figure 5 portant sur la distinction de la nature de la force lors de la phase de retrait (attractive ou répulsive), on observe que :

❖ Grâce au retour haptique, plus de 80% des étudiants répondent correctement.

❖ Les retours sonore et visuel produisent des résultats médiocres avec respectivement 25% et 45%.

❖ L'association de deux ou trois retours incluant le retour haptique, change peu le taux de réponse correcte (90% contre 85%).

Cette dernière observation démontre clairement que la détermination de la nature de la force se fait principalement grâce au toucher.

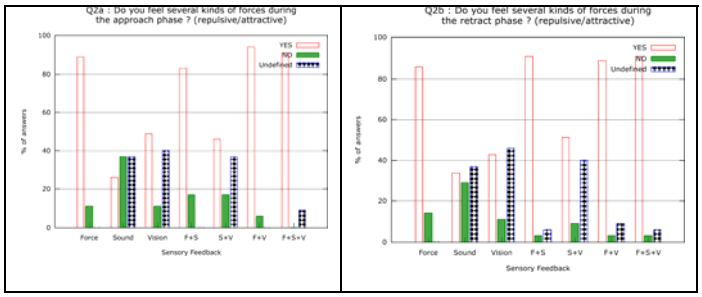

fig 5 : taux de réponses correctes à la question 2a) et 2b) en fonction des retour(s) sensoriel(s) activé(s)

La figure 6 relative à la question 3 révèle que :

❖ Grâce à un seul retour (visuel, sonore ou haptique), le pourcentage de réponse correcte dépasse 50% et peut même atteindre 65%.

❖ La combinaison de deux ou trois retours améliore nettement le pourcentage de réponse correcte (plus de 80%).

Concernant la question 4 (fig 6droite) on constate que :

❖ Les retours haptique et visuel sont plus efficaces que le son.

❖ La combinaison des retours haptique et visuel fournissent le meilleur taux de réponses correctes (85%).

A la lumière de ces deux constations, il semble que le retour haptique et celui visuel supportent deux informations complémentaires. Le retour visuel traduit le mieux l'élongation du levier, ce qui est cohérent avec la connaissance classique des étudiants sur l'élongation ou la contraction d'un ressort sous l'effet d'une force.

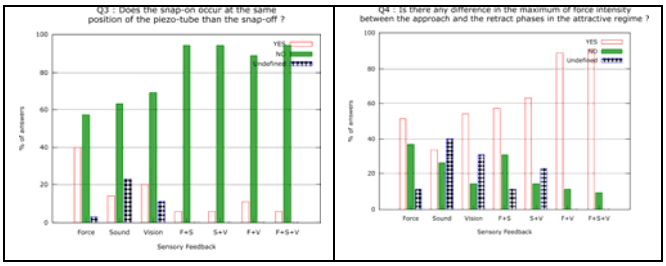

fig 6 : taux de réponse correcte aux question 3 et 4 en fonction des retour(s) sensoriel(s) activé(s)

D'une manière générale, l'ensemble de ces statistiques démontrent que le pourcentage de réponses correctes augmente lorsque les trois retours sont combinés. Dans certains cas, la combinaison de seulement deux retours bien choisis produit des résultats équivalent à la combinaison des trois. Chaque retour sensoriel possède une traduction privilégié d'une certaine information, par exemple le son pour la détection de faible variation dans l'intensité de la force.

Cette étude sur l'apport de la multi-sensorialité à la compréhension du phénomène de nano-contact a été déterminante dans la conception du NanoLearner « grand public ». Elle a aussi été essentielle dans la décision de concevoir une version du NanoLearner dédié à l'enseignement à l'université. Le NanoLearner dans sa version universitaire, propose une interface plus complète et versatile au niveau des modèles. En effet, les étudiants peuvent facilement changer la valeur des paramètres des modèles à savoir :

❖ La raideur du levier et/ou l'élasticité de la surface

❖ L'intensité et la nature de l'interaction pointe-surface basée sur l'équation suivante :

$$F = \frac{nH_0RZ_0}{Z^3} - \frac{nH_0R}{Z^2} - \frac{\varepsilon RV^2}{Z}$$

en ajustant les paramètres suivants : R, V, n. R est le rayon de la pointe, V la tension pointe-surface, n un nombre entier positif pour varier la constante de Hamker (H_0, constante d'Hamker de référence, ε constante diélectrique de l'air).

Grâce à cette interface logicielle très ouverte et conviviale, il est possible de traiter des cas les plus divers à savoir : exploration d'une surface souple/molle avec des leviers plus ou moins rigide (figure 7), détermination du rôle de la force électrostatique dans la réponse

comportementale du système, etc.… Le tout sur une durée de TP de 4h.
A ce jour, cette version enseignement du NanoLearner a déjà été utilisée pour des TP lors de l'école ESONN (European School On Nanoscience and Nanotechnology). Cependant il sera complètement opérationnel à partir de janvier 2010.

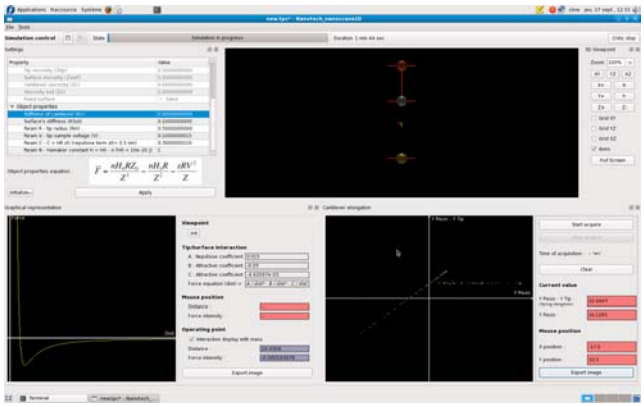

fig 7 : nouvelle interface graphique. En haut au centre, la visualisation en 1D de la nanoscène, en haut à gauche, le menu déroulant permettant de varier la valeur des paramètres, en bas à gauche, représentation de la force d'interaction LJ en fonction de la distance et en bas à droite, le tracé de la courbe de force en fonction du mouvement de l'utilisateur.

4 CONCLUSION

Ce concept très novateur de « NanoLearner » constitue un moyen unique d'aborder des problématiques liées au nanomonde pour des publics très variés. Ainsi dans sa version « grand public », il permet aux citoyens curieux de s'immerger dans le nanomonde afin d'y expérimenter la notion de contact et de la comparer à son expérience de tous les jours. Grâce à l'interface multi-sensorielle, ces différences sont soulignées de manière ludique et instinctive.
La version avancée éducative permet d'aborder des thématiques complexes liées à la nanomanipulation mais aussi d'expérimenter une large palette de situations d'interaction pointe-échantillon grâce à une interface logicielle très ouverte (facilité d'ajustement des paramètres). Cet instrument est issu de travaux de recherche bi-disciplinaire (nanophysique et réalités virtuelles) débutés en 2001, il est emblématique des échanges constructifs et évolutifs que peuvent entretenir le dyptique enseignement-recherche.
Dans le futur proche, nous envisageons d'enseigner une partie du programme de mécanique du point (système masse-ressort) grâce au NanoLearner pour les étudiants en difficulté de Licence 1. En effet nous pensons que cet instrument interactif et sensoriel peut aider à la compréhension des phénomènes mécaniques basiques en faisant ressentir les notions avant de les formaliser de manière mathématique. Enfin, la plateforme et le concept du NanoLearner pourrait être étendu et appliqué à d'autres matières par exemple à l'enseignement des différentes liaisons chimiques (covalente, ionique, etc.…).

Bibliographie

[1]National Science and Technology Council, *National Nanotechnology Initiative: Leading to the Next IndustrialRevolution*, op. cit., p. 15.
[2] Robinett, W. , R.M. Taylor II, V.L. Chi, F.P. Brooks, Jr., W.V. Wright, R.S. Williams, E.J. Snyder. "The Nanomanipulator: An Atomic-Scale Teleoperator, " *SIGGRAPH '92 Course Notes for course "Implementation of Immersive Virtual Worlds,(1992).*
[3] Li. G, Xi. N, Yu. M, Fung. W.K, "Development of augmented reality system for AFM-based nanomanipulation", *IEEE/ASME Trans. on Mechatron., vol. 9,pp. 358-365, (2004)* .
[4] M. Gail Jones, Alexandra Bokinsky, Dennis Kubasko, Atsuko Negishi, Russell Taylor, Richard Superfine, Thomas Andre, "NanoManipulator Applications in Education: The Impact of Haptic Experiences on Students' Attitudes and Concepts," *haptics, pp.295, 10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, (2002)*
[5] http://acroe.imag.fr/ergos-technologies/
[6] Capella. B, Dietler. G, 'Force-distance curves by atomic force microscopy', *Surfaces Science Reports, 34, 1-104 (1999)*
[7] Autumn. K, Sitti. M,. Liang A.Y,. Peattie A.M, Hansen W. R, Sponberg. S, Kenny T W, Fearing R. Israelachvili J.N, and Full R.J, 'Evidence for van der Waals adhesion in gecko setae', *PNAS, vol. 99 no. 19 12252-12256 (2002)*
[8] R. P. Feyman, *'Lectures on Physics » vol 1 (1964)*
[9] *www.**cime**.inpg.fr*