



HAL
open science

Le concept du NanoLearner : Les mains dans le Nanomonde de l'Université vers le grand public

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

► 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 de l'Université vers le grand public. Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes, 2011, 9, pp.0014. 10.1051/j3ea/2010017. hal-00809823

HAL Id: hal-00809823

<https://hal.science/hal-00809823>

Submitted on 9 Apr 2013

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 de l'Université vers le grand public

Florence Marchi^{*1}, Julien Castet², Sylvain Marlière², Nicolas Castagné², Joel Chevrier¹, Annie Luciani², Jean Loup Florens²

* florence.marchi@grenoble.cnrs.fr

¹ Institut Néel, CNRS-UJF, 25 Rue des Martyrs, BP 166, 38042 Grenoble Cedex 9, France

² ICA-ACROE, Grenoble INP, 46 Av. Félix 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, cet article présente le développement d'une plateforme interactive et multi-sensorielle appelée le « NanoLearner ». Cette plateforme associe un système à retour d'effort connecté avec des nano-scènes virtuelles. Elle permet d'aborder la problématique de la nanomanipulation ainsi que la notion complexe de nano-contact. L'impact des différents retours sensoriels (haptique, visuel et sonore) sur l'identification des aspects clés du nano-contact a été évalué au travers d'un questionnaire et de statistiques associées. Une version universitaire du NanoLearner est à présent disponible sur la plateforme d'enseignement pratique Nanomonde du CIME-Nanotech.

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

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, 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 admise, qui répond à la question « qu'est ce qui est nano ? » est la suivante: « 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 ce qui a pour effet de rendre la gravité négligeable devant les effets de surface tels que l'adhésion, la friction ou encore les effets de charges électriques (forces électrostatiques). Les lois physicochimiques régissant le nanomonde sont donc très éloignées de celles gouvernant 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 issus de la nanoélectronique et des nano-capteurs s'approche de celle des 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 voire pour la planète entière. Ainsi comme pour l'industrie nucléaire ou agroalimentaire (via les OGM par exemple), les Nanotechnologies soulèvent 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 intuitivement les différences majeures entre le monde macroscopique et le nanomonde. Dans cet esprit, nous avons développé le concept du « NanoLearner » qui couple la réalité virtuelle à une plateforme multi-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'inscrit dans la notion émergente des «serious game». A ce jour il se décline en deux versions distinctes mais complémentaires, une à visée de vulgarisation pour le « grand public », l'autre à visée pédagogique destinée principalement aux étudiants de niveau Licence et Master.

2 LE « NANOLEARNER » GRAND PUBLIC

L'idée de coupler la réalité virtuelle à des interfaces multi-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 sciences de l'éducation [4] et 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 (Centre de Culture Scientifique Technique et Industrielle) 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 clé 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 de 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 dont les performances en terme de bande passante, de raideur apparente, de précision dans le positionnement sont 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. A travers sa manipulation, l'utilisateur 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 ». Comme le nano-contact présente 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 appelé « saut au décrochage » [6].



fig 1 : gauche) la plateforme NanoLearner grand public ; droite) représentation visuelle 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 comparée à celle de la sonde AFM ce qui implique que seule la sonde se déforme sous l'action de l'interaction pointe-surface. L'interaction sonde-surface implantée est de type de Lennard-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.

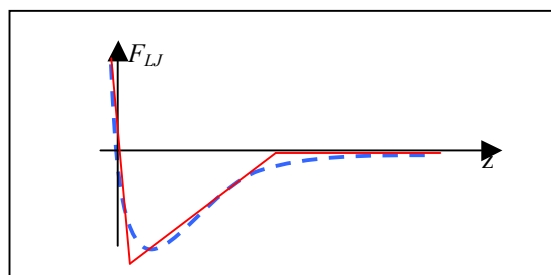


fig 2 : Représentation de la variation de la force de Lennard-Jones (LJ) en fonction de la distance

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 ce soit dans l'industrie de la microélectronique pour fabriquer des substrats 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 nano-monde.

2.3 Résultats et Analyse

A ce jour, le nanomanipulateur grand public est toujours en activité au sein de l'exposition « Nano ». Il a été utilisé par plus de 100 000 personnes de Grenoble à Athènes en passant par la cité des sciences à Paris et le CERN à Genève. Peu de maintenance est 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. L'attractivité de ce module a été confirmée par le directeur du globe de la science et de l'innovation du CERN à Genève, L. Pellequer : « *Le bras à retour d'effort fut un des modules très prisés par le public car il fait partie de ces outils muséographiques interactifs qui interpellent le visiteur. De plus le message perçu par le public s'accorde bien avec le contenu scientifique sous-jacent* » [8].

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 Feynman [9] : « *If, in some cataclysm, all of scientific knowledge were to be destroyed, 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 [10] 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 CNFM¹ (Lille, Toulouse, Rennes, Paris) et leur activité a fait l'objet d'un article spécifique au CETSIS² 2010. Grâce à ces microscopes en champ proche, les étudiants peuvent caractériser la topographie, les propriétés électriques ou magnétiques des surfaces et des nano-objets qui y sont supportés durant un TP de 4h. Néanmoins les interfaces de ces microscopes commerciaux ne sont pas assez versatiles ni interactives pour aborder de manière pédagogique les thématiques de nano-manipulation et l'étude complète des interactions pointe-échantillon en fonction des propriétés élastiques de la surface et/ou de la raideur de la sonde. En effet, les seuls retours de données disponibles sur les AFM et STM commerciaux sont visuels sous forme soit d'images en 3D soit de courbes (variation de 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 au niveau 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 développé un nano-manipulateur virtuel multi-sensoriel avancé pour traiter ces thématiques. Deux nano-scènes virtuelles spécifiques ont été implémentées : la première en une dimension (1D) focalise sur la courbe de force pour explorer la richesse des différentes situations de nano-contact et leur impact sur l'échantillon, la deuxième en 2D focalise sur la manipulation d'un nano-objet en interaction de type Lennard-Jones avec une surface. Cependant avant de concevoir la version pédagogique du nanomanipulateur à retour d'effort dénommée NanoLearner, nous avons évalué auprès d'un panel d'étudiants la pertinence de la multisensorialité dans l'identification des phases clés du nano-contact. Cette évaluation fut précieuse aussi bien dans la définition de l'interface du NanoLearner grand public que celle universitaire qui permet de configurer des situations de nanomanipulation très diverses grâce à une large gamme de paramètres ajustables.

3.1 Evaluation de la multi-sensorialité

Dés 2005 des séances de TP ont été proposées sur un prototype issu des travaux de recherche collaboratifs entre le laboratoire ICA (Informatique et Création Artistique) et le groupe champ proche de l'Institut Néel. Ce prototype permettait soit de coupler le système haptique à un vrai AFM pour travailler en mode téléopéré, soit de le coupler à un simulateur

¹ CNFM : Coordination Nationale pour la Formation en Microélectronique et nanotechnologies

² CETSIS : Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes

où étaient implantées des nanoscènes virtuelles. Ce prototype a servi à plusieurs actions pédagogiques exploratoires [11]. Dès le début, il nous est apparu crucial de déterminer l'intérêt 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 type et du nombre de retours sensoriels activés. 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.

Feedback configuration	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 pour chacune des sept configurations de retours sensoriels:

Q1a : Est-ce que vous détectez 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 la déformation du levier est la même lors du saut au contact que lors du 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 étudiants pouvaient répondre au choix OUI, NON ou « je ne sais pas » à chaque question ceci afin de limiter les réponses aléatoires.

Les résultats de cette évaluation sont résumés dans les statistiques présentées ci-dessous.

La figure 4 (Q1a et Q1b) révèle que :

- ❖ Environ 50% des étudiants répondent correctement (réponse OUI) grâce à un seul retour activé, peu de différences sont observables entre chacun des trois retours.
- ❖ Certaines combinaisons entre deux retours améliorent nettement le pourcentage 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 suivie 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.

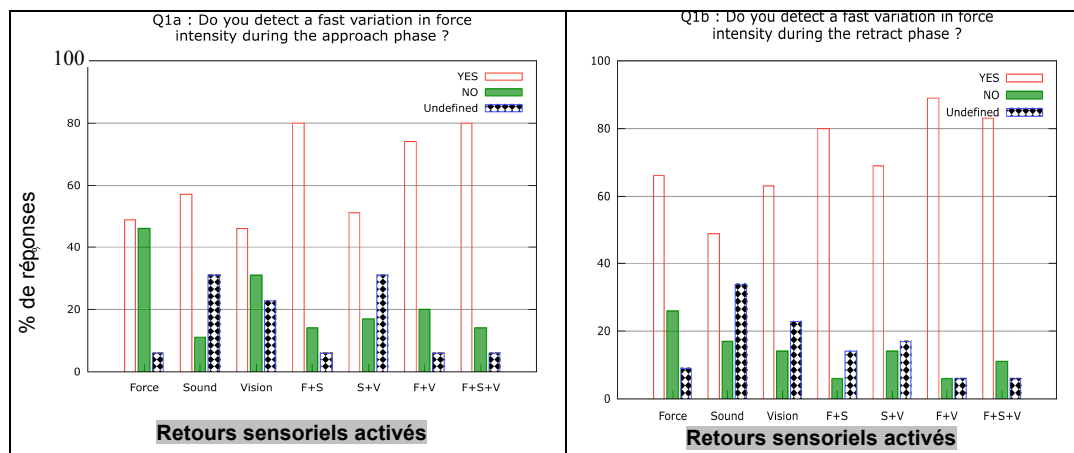


fig 4 : Pourcentage des réponses relatives aux questions Q1a et Q1b en fonction du type et du nombre de retours sensoriels activés

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 (respectivement 45% et 42% sur la fig 4a). Au contraire lors du saut au décrochage durant la phase de retrait où la variation de la force (fig 4Q1b) est bien supérieure à celle de la phase d'approche, le retour haptique ou visuel donnent de meilleures réponses (plus de 60%) contre 45% pour le retour sonore. Cette différence tend à montrer que le retour sonore est le plus performant pour détecter les petites variations de force.

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

- ❖ Grâce au retour haptique, plus de 80% des étudiants répondent correctement (OUI).
- ❖ Les retours sonore et visuel produisent des résultats médiocres avec respectivement 25% et 45%, de même que leur association (environ 50%).
- ❖ L'association de deux ou trois retours incluant le retour haptique, change peu le taux de réponse correcte (90% pour la combinaison des trois retours contre 85% pour haptique et son ou haptique et vision).

Cette dernière observation démontre clairement que dans le cadre de notre plateforme dédiée à la nanomanipulation et l'étude du nano-contact, la détermination de la nature de la force se fait principalement grâce au toucher.

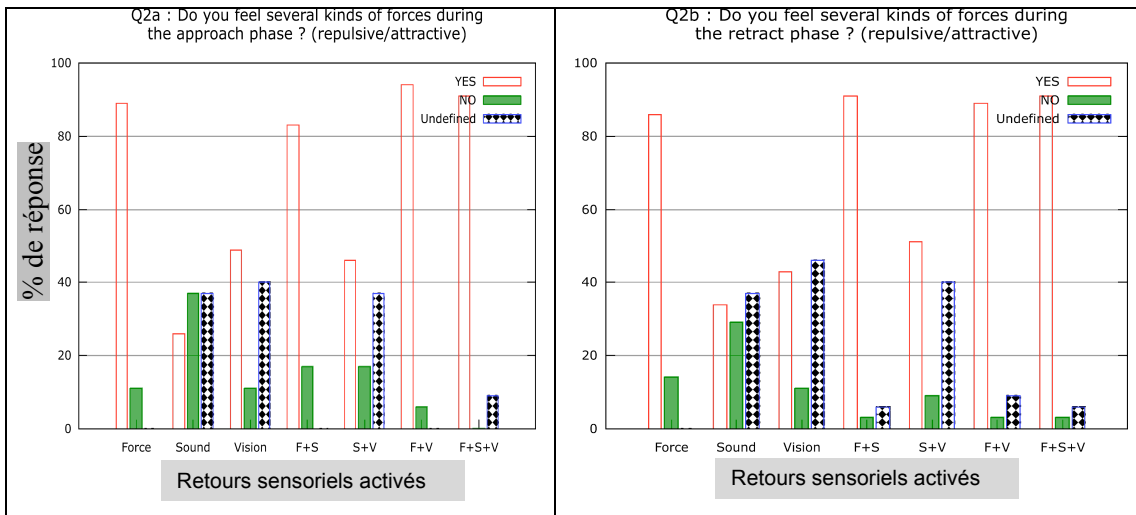


fig 5 : Pourcentage de réponses à la question 2a) et 2b) en fonction du type et du nombre des retours sensoriels activés

La figure 6 illustre les réponses aux questions 3 (cadre de gauche) et 4 (cadre de droite) portant sur une comparaison directe entre le saut au contact et le saut au décrochage, l'une sur la spatialité de l'action, l'autre sur l'intensité du phénomène.

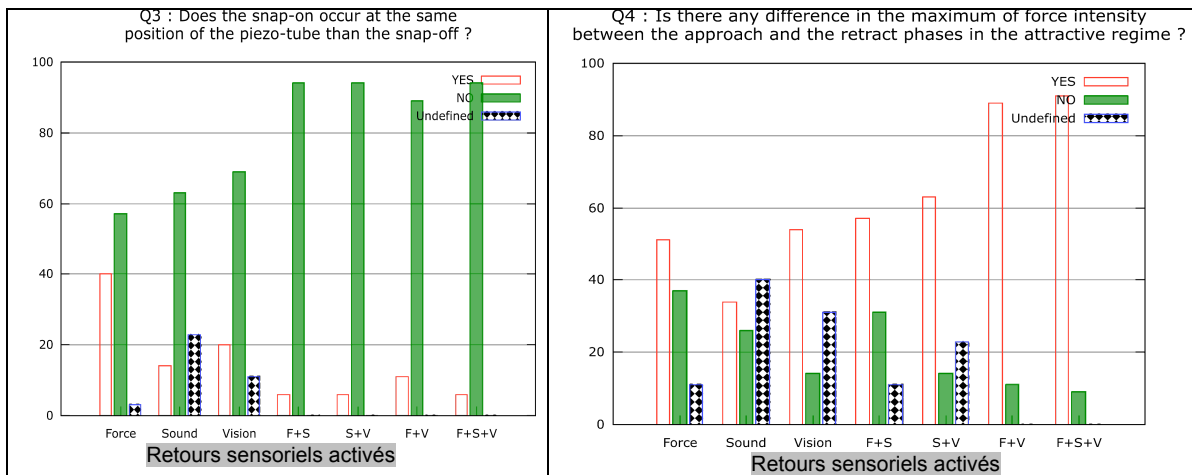


fig 6 : Pourcentage de réponses aux questions 3 et 4 en fonction du type et du nombre des retours sensoriels activés

Pour la question 3 on constate que :

- ❖ Grâce à un seul retour (haptique, sonore ou visuel), le pourcentage de réponse correcte (NON) dépasse 50% et atteint même 65% pour le retour visuel.
- ❖ La combinaison de deux ou trois retours améliore nettement le pourcentage de réponse correcte (plus de 80%).

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

- ❖ Les retours haptique et visuel produisent de meilleurs résultats que le son.
- ❖ La combinaison des retours haptique et visuel fournit le meilleur pourcentage (85%) de réponses correctes (OUI).
- ❖ Le retour sonore induit un pourcentage plus élevé de réponse indéterminée (jusqu'à 40% lorsqu'il est activé seul) comparé aux retours visuel ou haptique.

A la lumière de ces deux constatations, il semble que les retours haptique et visuel apportent deux informations complémentaires. Le retour visuel traduit le mieux l'élongation du levier et le repérage spatial des endroits où se produisent ces sauts brutaux tandis que la comparaison entre des intensités de forces importantes (lors du saut au contact l'intensité de la force est bien plus faible que lors du saut au retrait) est mieux perçue grâce au retour haptique.

D'une manière générale, l'ensemble de ces statistiques descriptives montre 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 équivalents à la combinaison des trois. Chaque retour sensoriel possède une traduction privilégiée d'une certaine information : le son permet la détection de faibles variations dans l'intensité de la force lors du saut au contact, la visualisation un repérage spatial du lieu des événements tandis que l'haptique joue un rôle clé dans la détermination de la nature de la force. Les trois retours ne sont donc pas redondants mais bien complémentaires. Il est à noter que le retour sonore reste celui qui est le plus difficile à décoder par les étudiants, peut être est-ce dû à son utilisation faible lors des « serious games » classiques où l'interface se limite souvent à un retour visuel et une commande via un clavier et une souris.

3.2 L'interface du NanoLearner grand public et universitaire

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 dédiée 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 :

- ❖ L'élasticité du levier et/ou de la surface
- ❖ L'intensité et la nature de la force F entre la pointe et la surface est basée sur l'équation suivante :

$$F = \frac{nH_0RZ_0}{Z^3} - \frac{nH_0R}{Z^2} - \frac{\epsilon RV^2}{Z} \quad \text{où } Z \text{ est la distance entre la pointe et la surface.}$$

Les paramètres suivants sont ajustables : 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 Hamaker (H_0 , constante d'Hamaker de référence, ϵ est la 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 rigides (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).

4 CONCLUSION ET PERSPECTIVE

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'expérimenter la notion de contact et de la comparer à leur expérience de tous les jours. Grâce à l'interface multi-sensorielle, ces différences sont soulignées de manière ludique et instinctive.

La version universitaire qui est plus complète et versatile, 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 peut entretenir le dyptique enseignement-recherche.

Actuellement cet outil est un moyen privilégié de découvertes des spécificités du Nanomonde auprès d'un public de lycéens lors d'ateliers « Nanosciences et Nanotechnologies » tout en faisant le lien avec leur programme de physique-

chimie. Ces ateliers se déroulent dans le cadre de l'opération « Nano@school » financée par le programme national NanoInnov (2010-11).

Il est aussi largement présenté lors de séances en formation continue des enseignants du secondaire pour les sensibiliser aux nanosciences et nanotechnologies mais aussi à la puissance de la réalité virtuelle couplée à la multisensorialité pour rendre tangibles des concepts de physique ou chimie complexes. De manière plus large, il montre l'intérêt du développement des « serious games » multisensoriels pour l'éducation.

Dans un futur proche, nous envisageons de monter des TP autour du Nanolearner pour aborder des thématiques ciblées EEA (Electronique Electrotechnique Automatique) telles que la micro/nano-robotique, l'interface homme-machine pour agir dans un mode inaccessible via les systèmes à retour d'effort ou encore la modélisation de phénomènes physiques appliquée à la réalité virtuelle.

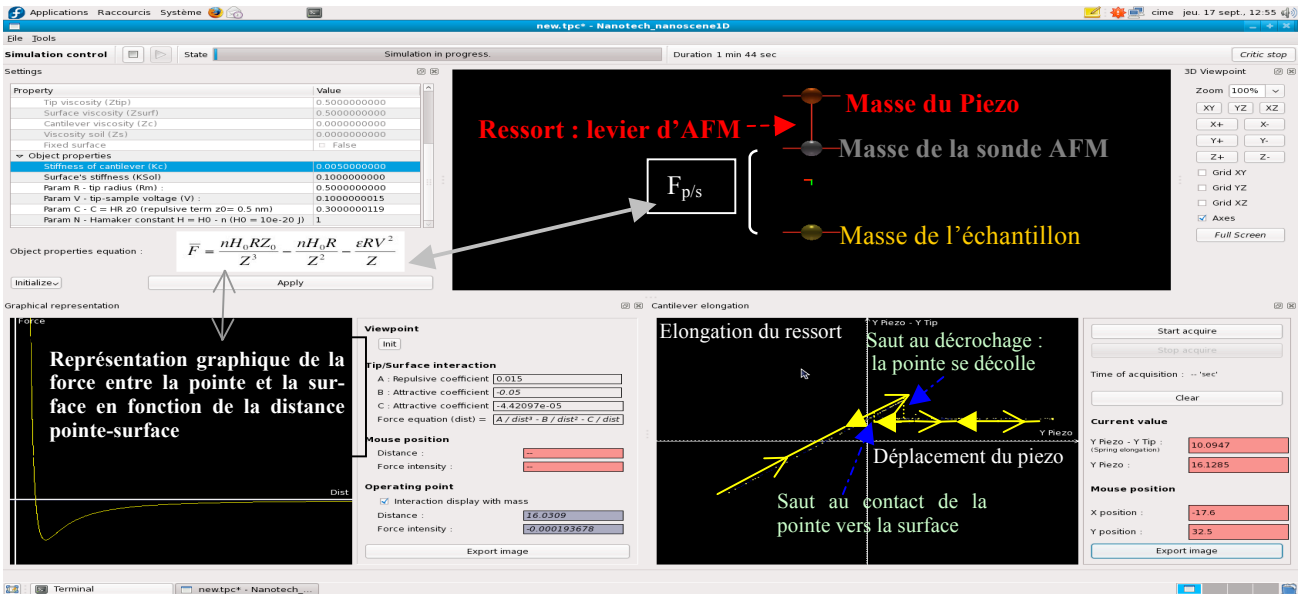


fig 7 : Interface graphique du modèle 1D. En haut au centre : la visualisation en 1D de la nanoscène. En haut à gauche : menu déroulant permettant de varier la valeur des paramètres. En bas à gauche : représentation de la force d'interaction LJ en fonction de la distance et en bas à droite, le tracé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

Bibliographie

- [1] National Science and Technology Council, National Nanotechnology Initiative : Leading to the Next Industrial Revolution, Washington, February 2000.
- [2] Robinett, W., Taylor R.M, Chi V.L, Brooks F.P, Wright W.V, Williams R.S, Snyder E.J. "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] Jones. G, Bokinsky. A, Kubasko. D, Negishi. A, Taylor. R, Superfine. R, Andre. T, "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] Lettre disponible : <http://neel.cnrs.fr/spip.php?article2212>
- [9] Feynman R. P, ' *Lectures on Physics* » vol 1 (1964)
- [10] www.cime.inpg.fr
- [11] Marchi . F, Marlière. S, Florens J.L, Luciani. A and Chevrier. J, « An augmented reality nanomanipulator for learning nanophysics : the "Nanolearner" platform », *LNCS 6250, Journal of Transactions on Edutainment IV*, p157-175, Springer 2010