



HAL
open science

Sensibilisation des enseignants du collège et du lycée à l'interdisciplinarité autour des nanotechnologies et des neurosciences : développement d'implants cérébraux de nouvelle génération

N. Schoonjans, Christel Vanbesien, R. Kassi, G. Deromelaere, F. Pelletier, B. Raveillon, A. Courdent, Alexis Vlandas, A. Cappy, Virginie Hoel

► **To cite this version:**

N. Schoonjans, Christel Vanbesien, R. Kassi, G. Deromelaere, F. Pelletier, et al.. Sensibilisation des enseignants du collège et du lycée à l'interdisciplinarité autour des nanotechnologies et des neurosciences : développement d'implants cérébraux de nouvelle génération. 17èmes Journées Pédagogiques de la CNFM (Coordination Nationale pour la Formation en Microélectronique), Nov 2023, Toulouse, France. hal-04410423

HAL Id: hal-04410423

<https://hal.science/hal-04410423v1>

Submitted on 22 Jan 2024

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.

Sensibilisation des enseignants du collège et du lycée à l'interdisciplinarité autour des nanotechnologies et des neurosciences : développement d'implants cérébraux de nouvelle génération

N. Schoonjans^{a,b}, C. Vanbesien-Mailliot^{a,b}, R. Kassi^b, G. Deromelaere^c, F. Pelletier^d, B. Raveillon^c, A. Courdent^c, A. Vlandas^b, A. Cappy^{a,b}, V. Hoel^{a,b}

^a PLFM – CNFM (Pôle Lillois pour la Formation en Microélectronique et en nanotechnologies Cité Scientifique, 59655 Villeneuve d'Ascq)

^b Univ. Lille, CNRS, UMR 8520–IEMN, F-59000 Lille, France

^c Maison pour la science en Nord-Pas-de-Calais MPLS, Initiative ULille, Académie de Lille, Inspé Lille

^d Inspé Lille, Institut national supérieur du professorat et de l'éducation, Académie de Lille, HdF, 59650 Villeneuve d'Ascq

Contact email : virginie.hoel@univ-lille.fr

Mots clés : Neurone et synapse artificiels, circuit électronique, logiciel de simulation, traitement d'images, apprentissage.

Introduction

Cette formation qui se déroule sur 3 jours a pour thème la « Sensibilisation des enseignants du collège et du lycée à l'interdisciplinarité autour des nanotechnologies et des neurosciences : développement d'implants cérébraux de nouvelle génération ». A la suite de notre action à l'XPERIUM [1,2], nous proposons de décliner une formation à l'Université de Lille dont l'objectif est de former des enseignants qui travaillent au sein de lycées généraux, technologiques ou professionnels. Ils enseignent la SVT, la Physique-chimie, ou des contenus numériques/ informatiques, technologiques. Cette action vise à contribuer à développer l'attractivité des formations en microélectronique et en nanotechnologies.

Cette formation peut avoir lieu grâce à la synergie entre plusieurs entités qui sont le pôle CNFM de Lille (PLFM : Pôle Lillois de Formation en Microélectronique et Nanotechnologies), la Maison Pour la Science en Nord - Pas-de-Calais (MPLS), l'INSPE (Institut National Supérieur du Professorat et de l'Education, Académie de Lille) et le laboratoire de recherche IEMN (Institut d'Electronique, de Microelectronique et de Nanotechnologies). En effet, cette formation est bâtie à partir d'une activité de recherche interdisciplinaire qui est développée au laboratoire IEMN avec les chercheurs et enseignants-chercheurs qui en sont membres. L'activité se déclinera à plusieurs endroits, et une immersion lors de la première journée sera réalisée sur la plateforme salle blanche du CNFM Lille.

La MPLS joue le rôle de promoteur et propose au rectorat des formations clefs en main avec des interventions d'enseignants-chercheurs, des visites de laboratoire et d'entreprises. Le rectorat s'occupe de faire la promotion de cette formation et de convoquer les enseignants qui se montrent intéressés ou dont les chefs d'établissement trouvent une pertinence à la formation en lien avec leur projet.

Les acteurs de cette formation

Les acteurs sont au nombre de 4. Le premier acteur est le pôle PLFM - CNFM de Lille. Celui-ci est spécialisé dans la conception, la fabrication et la caractérisation de composants et de systèmes dans le domaine des radiofréquences et hyperfréquences. Il propose des formations de pointe et des travaux pratiques de difficultés variables, destinés aux étudiants des grandes écoles d'ingénieur, aux universitaires et aux professionnels de la microélectronique et des nanotechnologies. Situé sur le Campus Cité Scientifique de l'Université Lille, le pôle s'étend sur plus de 300m² et dispose de moyens de formation en microélectronique exceptionnels, uniques dans la région Hauts-de-France.



Fig. 1 : PLFM CNFM Lille (Pôle Lillois de formation en Microélectronique et Nanotechnologies)

Le deuxième acteur est le réseau des Maisons pour la science. Il s'agit d'un dispositif innovant où collaborent scientifiques et pédagogues pour la mise en place d'actions de développement professionnel pour les enseignants du premier et du second degré en sciences et technologie. Implantées dans les Universités, les Maisons pour la science proposent à l'échelle d'une académie, en étroite partenariat avec le rectorat, une offre de formation et d'accompagnement originale visant à aider les professeurs à pratiquer de manière active, attrayante et contemporaine les sciences et la technologie dans leurs classes.

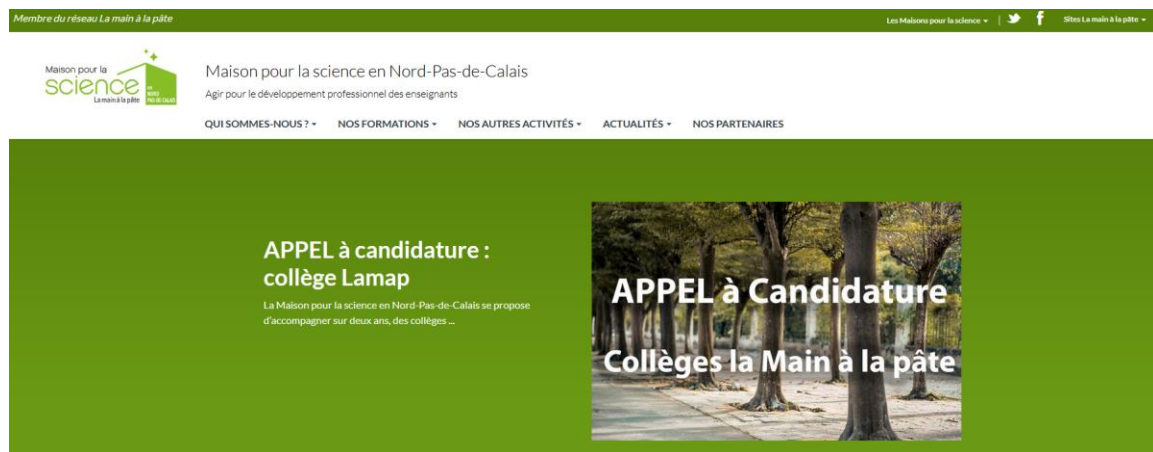


Fig. 2 : Maison pour la science en Nord-Pas-de-Calais (<https://www.inspe-lille-hdf.fr/formation-continue/maison-pour-la-science>)

Le troisième acteur est l'INSPE Lille HdF implanté au cœur du territoire des Hauts-de-France et de ses universités. Il prépare aux métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation (de la maternelle au lycée). À la fois universitaire et professionnelle, son offre de formation initiale (Master MEÉF), continue et tout au long de la vie, permet de nombreux débouchés dans le secteur de l'éducation et de la formation, public, privé ou associatif. Ouvert sur l'international, fédératif de la recherche régionale en éducation, attentif aux besoins de ses partenaires académiques et institutionnels, l'INSPE Lille HdF innove et développe son expertise dans tous les champs éducatifs.

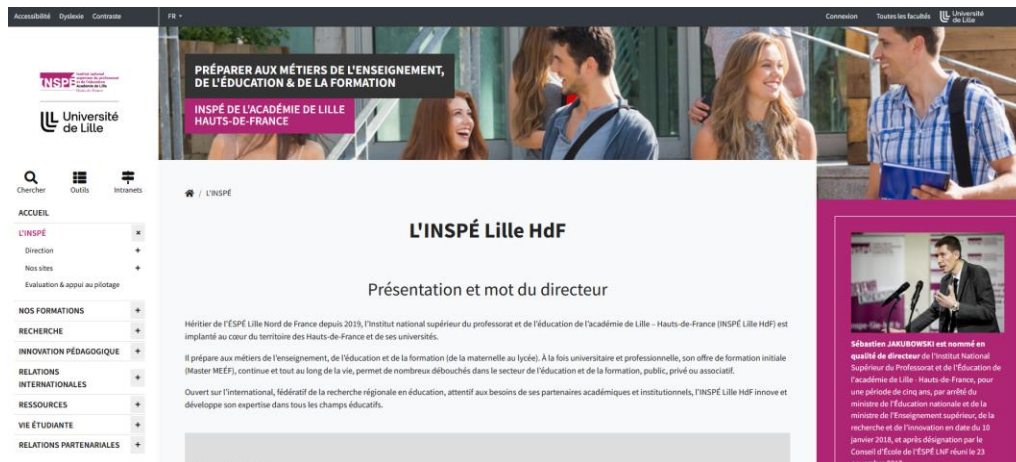


Fig. 3 : L'Institut national supérieur du professorat et de l'éducation de l'académie de Lille (INSPE Lille HdF, <https://www.inspe-lille-hdf.fr/>).

Les profils variés des formateurs et formatrices attachés à la MPLS et à l'INSPE permettent de travailler en synergie avec les collègues enseignants du secondaire. Il s'agit d'une Professeure de technologie en collège et formatrice à la Maison pour la Science en Nord-Pas-de-Calais, d'une Formatrice en SVT à l'INSPE et à la Maison pour la Science en Nord-Pas-de-Calais, et enfin d'un Formateur en sciences de l'Ingénieur à l'INSPE Lille Hauts-de-France.

Le quatrième acteur est le laboratoire IEMN, acteur majeur dans le domaine des micro/nanotechnologies et leurs applications. Fort de 450 collaborateurs de 40 nationalités différentes, l'IEMN regroupe l'essentiel de la recherche en Hauts-de-France allant des nanosciences à l'instrumentation dans le domaine des microtechnologies. Il s'appuie sur 5 tutelles et un budget de 28 M€ pour développer des technologies miniaturisées à forte valeur ajoutée dans l'électronique, la photonique, les télécommunications, les technologies pour la santé, l'énergie électrique, l'internet des objets ou encore le transport. Dans ce contexte, les enseignants-chercheurs, les chercheurs et les doctorants de l'université de Lille et du CNRS membres de l'IEMN proposent des innovations pédagogiques relevant de la médiation scientifique autour d'un thème interdisciplinaire regroupant la microélectronique, la nanotechnologie, les systèmes microélectromécaniques dédiés à la biologie (ou BioMEMS) et les neurosciences. Le cœur de cette activité pédagogique réside dans son fort degré d'innovation à la pointe des activités de recherches internationales sur le sujet.

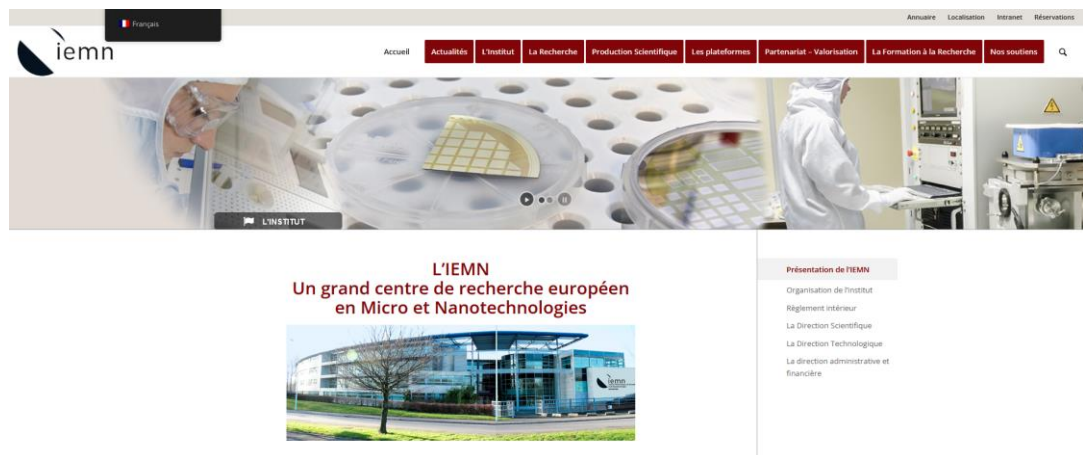


Fig. 4 : IEMN Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologies - UMR 8520 (<https://www.iemn.fr/>)

Les publics visés et les participants

Les publics visés sont constitués à la fois d'enseignants et d'élèves de niveaux collège et lycée. Nous avons actuellement 12 inscrits pour la première journée, réservée aux professeurs des collèges et lycées participants, qui aura lieu le 1^{er} Décembre 2023. Pour cette formation, les enseignants inscrits en lien avec l'électronique travaillent dans les domaines suivants : Sciences physiques et chimiques, Mathématiques Sciences Physiques et Sciences Industrielles de l'Ingénieur - option ingénierie mécanique. Les enseignants en lien avec d'autres sciences émergent aux domaines des Sciences de la vie et de la terre, des enseignements artistiques et arts appliqués, ainsi que des Industries graphiques. Ils travaillent dans des lycées généraux et technologiques, des lycées professionnels et des lycées polyvalents. Ils viennent de villes de la métropole lilloise, telles que Lille, Lambersart, et La Madeleine.

Le thème de la formation : l'activité de recherche interdisciplinaire autour des nanotechnologies, de la microélectronique et des neurosciences

Cette activité s'appuie sur les travaux très interdisciplinaires menés depuis quelques années au sein des équipes CSAM et BioMEMS de l'IEMN qui visent à établir une boucle de communication bidirectionnelle entre des neurones artificiels originaux et des neurones vivants, dans le but de développer des prothèses neuronales de nouvelle génération [3,4]. Ces neurones artificiels ont été développés au travers du projet SPINE (collaboration entre l'IEMN et l'IRCICA) et sont protégés par des brevets [5,6]. Leurs performances sont inédites d'une part en termes de consommation énergétique puisqu'ils ne consomment que 4fJ/spike ce qui est particulièrement performant par rapport aux autres solutions existantes [7]. D'autre part, ces neurones émettent des signatures électriques tout à fait comparables à celles des neurones vivants, que ce soit en termes d'amplitude, de fréquence ou d'étalement temporel : on les qualifie à ce titre de « potentiels d'action biomimétiques ». Cela nous a donc incité à mettre ces neurones artificiels originaux au contact de cellules neuronales maintenues en culture *in vitro*. Pour cela, des dispositifs neurobiohybrides ont été développés à façon au laboratoire IEMN. Ils sont constitués de chambres de culture en PDMS posées sur des réseaux de microélectrodes permettant : a) d'assurer des conditions de culture (stérilité, hygrométrie, température, pH...) indispensables au maintien de cellules vivantes sur des durées compatibles avec l'enregistrement de leur activité électrique, et b) d'enregistrer l'activité électrique des neurones vivants ainsi cultivés. Les

premiers travaux menés dans ce contexte ont établi la capacité des neurones vivants à être stimulés par de tels signaux biomimétiques. Les travaux en cours montrent la capacité de ce type d'interfaces neurobiohybrides d'enregistrer des signaux électriques en lien avec une activité électrique biologique avérée. Ces premières étapes *in vitro* visent au développement d'implants neuronaux de nouvelle génération qui seront capables de fonctionner en boucle fermée (c'est-à-dire capables d'enregistrer l'activité électrique des zones implantées et de les stimuler en adaptant en temps réel les paramètres de stimulation aux besoins cliniques).

Objectifs et programmes de la formation

Dans ce contexte, les objectifs sont de former les enseignants lors de la première journée et de les aider à définir des actions à mener ensuite avec les lycéens et les collégiens issus de leurs établissements respectifs dans le cadre des autres journées. Une action en lien avec la nanoélectronique et la microélectronique consistera à travailler dans la salle blanche du PLFM sur une ou deux étapes qui entrent dans la fabrication d'un dispositif de type neurobiohybride. Il y aura également une visite du laboratoire d'électronique IEMN pour une sensibilisation à la métrologie et au développement de solutions matérielles nécessaires pour l'enregistrement des signaux électriques extracellulaires par exemple. Il est à noter que, en parallèle, et dans le but de développer l'attractivité des formations en microélectronique et en nanotechnologies, un rapide exposé sur l'accès aux formations de l'université de Lille et ses parcours de formations est proposé, avec un focus sur les liens avec l'industrie (en particulier l'implication dans la filière industrie électronique).

Le programme planifié actuellement sur trois jours se décline de la façon suivante :

- 1^{ère} journée (réservée aux enseignants) : après une présentation du contexte scientifique et des objectifs du travail réalisé à l'IEMN, et au regard du caractère de confidentialité des données et techniques qui seront présentées, les enseignants du secondaire participants sont sensibilisés aux notions de propriété intellectuelle et à la question des brevets. Ils pénètrent ensuite dans la salle blanche du pôle PLFM de Lille (explication des procédures d'entrée, des besoins relatifs à ce type d'environnement sans poussières, familiarisation avec les techniques et les équipements de pointes associés...) et manipulent différents supports de nanotechnologies (appréhension de la dimension « nano » et équipements spécifiques reliés). Ils découvrent ensuite la salle de caractérisation (CHOP) de l'IEMN qui leur permet d'observer des mesures de stimulation électriques en dispositifs neurobiohybrides avec des neurones vivants. Une visite commentée des autres plateformes du laboratoire (notamment la salle blanche à dimension recherche d'~1900m², et le laboratoire L2 pour la culture des neurones vivants) leur permet de contextualiser l'ensemble des procédés mis en œuvre dans le cadre de développement d'implants neuronaux de nouvelle génération. La journée s'achève par une table ronde destinée à permettre aux enseignants de se projeter dans des visites pour leurs élèves, de prévoir des activités de classe et de faire des liens avec les programmes d'enseignement du secondaire.

- 2^{ème} journée (réservée aux enseignants) : après les aspects électroniques et nanosciences des travaux présentés en première journée, cette deuxième journée est davantage axée sur les questions biologiques liées au contexte scientifique général. Les enseignants apprennent à manipuler des cellules vivantes en environnement de laboratoire L1 (laboratoire de travaux pratiques utilisé pour la formation des étudiants des filières de biologie) puis participent aux expériences de stimulations neuronales en dispositifs neurobiohybrides. Les questions travaillées dans ce cadre sont celles des approches croisées indispensables à établir la réalité biologique des phénomènes électriques

enregistrés. La démarche expérimentale, les nécessaires contrôles expérimentaux et de procédures sont discutés et permettent de mieux appréhender les éventuelles difficultés des élèves lorsqu'ils seront en situation expérimentale eux-mêmes.

- *3^{ème} journée (avec les élèves des enseignants préalablement formés qui le souhaitent)* : suite aux éléments qui auront été définis et préparés lors de la première journée, les élèves seront amenés à réaliser une (ou plusieurs) étapes de fabrication d'une interface neurobiohybride dans la salle blanche du pôle PLFM de Lille, sous la supervision de leurs enseignants respectifs.

Conclusion

Ce travail de sensibilisation des enseignants du collège et du lycée à l'interdisciplinarité autour des nanotechnologies, de la microélectronique et des neurosciences appliqué au développement d'implants cérébraux de nouvelle génération est porté par 4 partenaires qui sont le PLFM, la MPLS, l'INSPE, et l'IEMN. Le travail vise à proposer une formation sur ce thème aux enseignants du secondaire ainsi qu'à leurs élèves afin de les sensibiliser à différents domaines scientifiques (électronique et biologie), aux dernières innovations développées dans les centres de recherche et directement transférées dans nos licences et nos masters. Au-delà de l'aspect disciplinaire, cela permet de travailler également les sujets d'attractivité des formations scientifiques et de présenter les nouveaux parcours de formation, notamment ceux en lien avec la microélectronique et les nanotechnologies. A cette occasion, il est possible de faire connaître les enjeux de la filière, les débouchés en terme de métiers, ainsi que les évolutions pédagogiques au sein de l'université.

Remerciements

Nous remercions le GIP CNFM et la DGESIP, l'équipe du CNFM Lille, le laboratoire IEMN CNRS UMR8520, la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Lille, et le rectorat de Lille, ainsi que les ingénieurs, chercheurs et techniciens impliqués dans ces différentes structures.

Bibliographie

1. Henniquau, D., Vanbesien, C., Falez, P., Devienne, P., Vlandas, A., Cappy, A., Hoel, V., Les systèmes neuroinspirés appliqués à la vision artificielle: pédagogie et interdisciplinarité, *Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes*, 2022, 21, (10.1051/j3ea/20221023) hal-03464492
2. Henniquau, D., Falez, P., Philippe Devienne, Christel Vanbesien, Alexis Vlandas, A. Cappy, Virginie Hoel, Système de vision neuro-inspirée : Application à la vision artificielle, *Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes*, 2022, 21, 2035, 6 p. (10.1051/j3ea/20222035)
3. Vassanelli, S., & Mahmud, M. (2016). Trends and Challenges in Neuroengineering: Toward "Intelligent" Neuroprostheses through Brain-"Brain Inspired Systems" Communication. *Frontiers in Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00438HAS>
4. Panuccio, G., Semprini, M., & Chiappalone, M. (2016). Intelligent Biohybrid Systems for Functional Brain Repair. *New Horizons in Translational Medicine*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.nhtm.2016.10.001>
5. Brevet Neurone Artificiel, N° de priorité : FR20160053175 20160411 N° de publication : FR3050050 (A1) 2017-10-13
6. Brevet Capteur Optique N° de priorité : FR20170060062 N° de publication : FR3072564 (A1) 2019-04-26
7. Sourikopoulos, I., Hedayat, S., Loyez, C., Danneville, F., Hoel, V., Mercier, E., & Cappy, A. (2017a). A 4-fJ/Spike Artificial Neuron in 65 nm CMOS Technology. *Frontiers in Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00123>