

de la La Gazette de la Recherche

octobre 2017 - n°14

Institut Galilée

Hydrogène à tous les étages p.4 • Vers des réseaux virtuels sur mesure : entre défis et réalité p.5 • Stabilisation de lasers compacts multimodes pour applications embarquées p.6 • Développements mathématiques liés à la stabilisation des systèmes p.7 • Des réactions chimiques activées par plasmons p.8 • Le futur revêtement biodégradable de stents coronaires : le PDMMLA p.9 • Nouvelle approche pour détecter les virus informatiques p.10

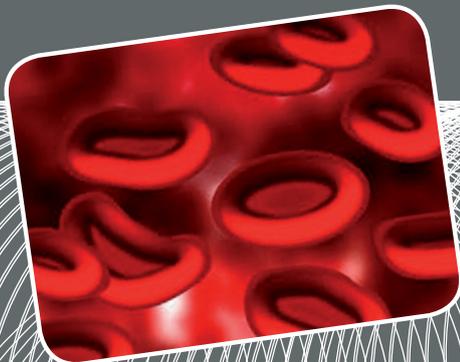




Photo : © Gabriel Quirant



La Gazette de la Recherche est un espace d'information et de diffusion privilégié donnant un aperçu de la qualité et de la diversité des recherches menées au sein de l'Institut Galilée, composante scientifique de l'Université Paris 13.

La nature pluridisciplinaire de l'Institut Galilée confère à ses laboratoires la possibilité de couvrir aussi bien les domaines des mathématiques, de l'informatique, de la physique, de la chimie, des matériaux et bio-matériaux et des sciences pour l'ingénieur. De plus, la structure de l'Institut lui permet d'accroître les synergies entre recherche, formations généralistes, professionnelles et technologiques, et d'offrir ainsi les meilleurs cursus à ses étudiants, dont le flux est en forte augmentation. Nos activités de recherche sont conséquemment souvent à l'interface de plusieurs domaines et impliquent fréquemment plusieurs laboratoires. A ce titre, citons le pôle MathSTIC qui s'inscrit dans le projet de l'Université Paris 13 de créer une véritable fédération de recherche dans les domaines mathématiques et sciences et technologies de l'information et de la communication au coeur de la Région Nord de l'Île-de-France. Quatre laboratoires de l'Institut Galilée participent également à l'Institut Interdisciplinaire en Sciences Expérimentales (IISE) dont l'objectif est de favoriser l'émergence de projets collaboratifs et d'actions communes entre les différents laboratoires en sciences expérimentales de l'Université Paris 13.

L'Institut Galilée regroupe quatre mentions de Licence, neuf de Master, une école d'ingénieurs offrant quatre spécialités – Sup Galilée –, et sept laboratoires de recherche, presque tous associés au CNRS ou à l'INSERM. Elle porte une attention particulière sur l'insertion professionnelle de ses étudiants. Un forum Sup Galilée Entreprises et un forum de l'alternance sont organisés tous les ans. Ces dernières années, plusieurs conventions ont été signées avec de nouvelles entreprises. Cette orientation d'ancrage

territorial a été renforcée grâce à un partenariat actif avec Plaine Commune Promotion. Par ailleurs, nos chercheurs et nos étudiants peuvent bénéficier de l'encadrement de l'incubateur Incub'13 pour développer des activités de création d'entreprises.

Les personnels de nos laboratoires mènent des travaux de recherche de haut niveau dont le rayonnement et la visibilité sont internationaux. Notre classement dans le top 100 mondial en mathématiques en est une récente illustration. Cette reconnaissance, appuyée par les dernières évaluations de nos laboratoires, leurs fortes interactions avec le monde socio-économique, et leurs participations à de nombreux projets d'excellence démontrent leur dynamisme et leur vitalité.

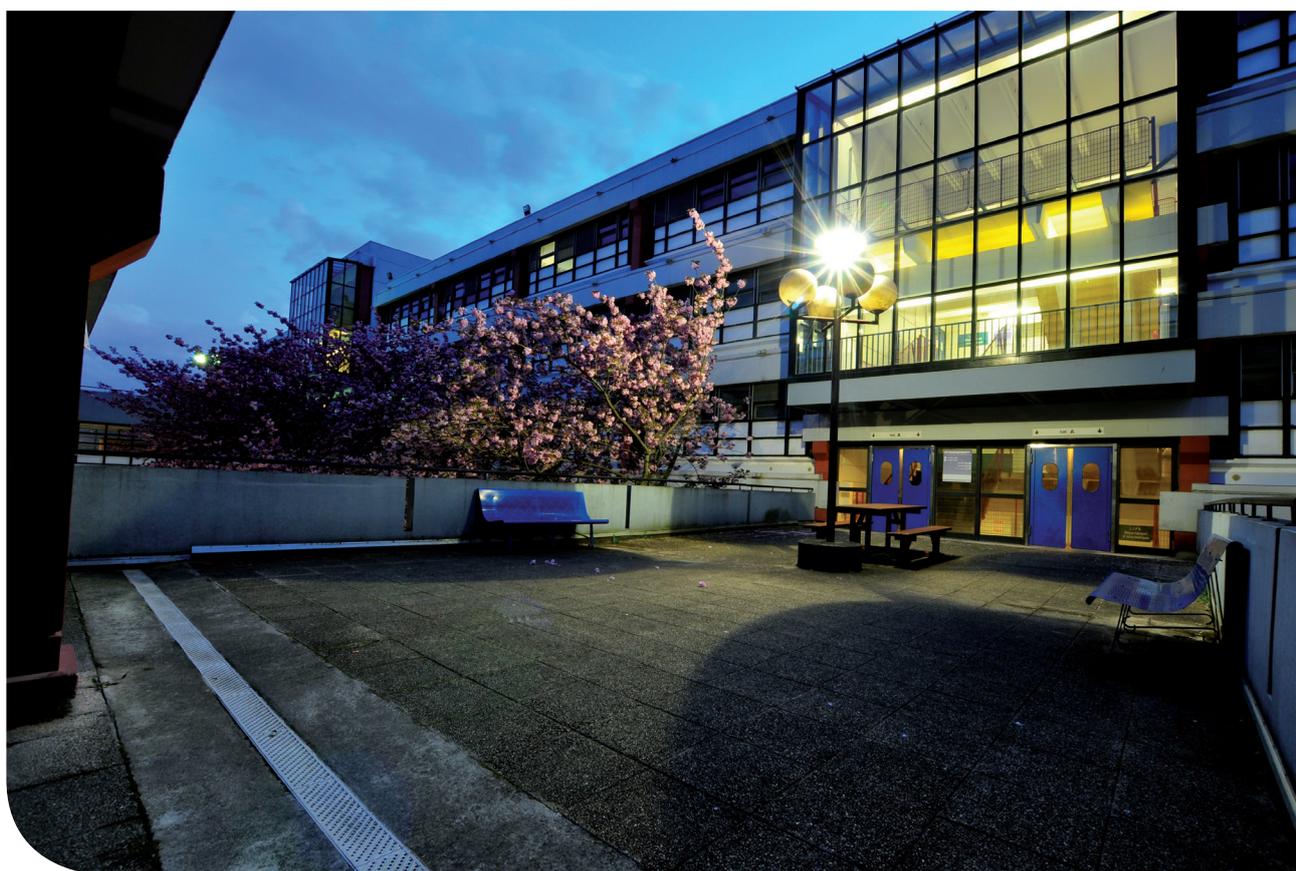
En 2016, près de quarante thèses de Doctorat ont été soutenues au sein de l'école doctorale Galilée dans un des laboratoires de l'Institut. Après leur thèse, un quart des jeunes docteurs a entamé une carrière en entreprise, un autre quart a trouvé un emploi pérenne dans la recherche publique et la moitié a poursuivi une activité de recherche sous la forme de séjours post-doctoraux à l'étranger. Cette ouverture internationale de l'Institut se concrétise également par de nombreuses actions et échanges, qui sont en augmentation : nouveaux partenariats et conventions avec des Universités et écoles, mobilité entrante et sortante de nos étudiants (stages ou double diplôme), collaborations et visites de chercheurs et d'enseignants.

Je vous souhaite une bonne lecture de ce nouveau numéro, représentatif des multiples thématiques de recherche abordées par nos laboratoires.

Frédéric ROUPIN

Directeur de l'Institut Galilée

Institut Galilée - Université Paris 13
99 avenue Jean-Baptiste Clément - 93430 Villetaneuse
www-galilee.univ-paris13.fr



Hydrogène à tous les étages

Il y a un peu moins d'un siècle, la petite mais ostensible plaque *gaz à tous les étages* suffisait encore à faire valoir le confort qu'offrait un immeuble. Fabriqué par pyrolyse de la houille, le gaz de ville contenait 50 % de dihydrogène et préluait ainsi à la vision de Jules Verne selon laquelle « l'eau décomposée en ses éléments constitutifs [...] [serait] le charbon de l'avenir ».

Figure 1 : Tronçon pré-entaillé de tube DN 300 en acier X80 après essai destructif, encore monté (à gauche) sur le banc d'essais comparatifs de fragilisation par l'hydrogène, copropriété CNRS-ENGIE, cloche de protection retirée, et démonté (à droite).

Figure 2 : Isothermes de cryo-adsorption de l'hydrogène (collab. LPT Orsay) par le graphane (en rouge), un charbon actif de type AX21 (en vert) et des nanotubes de carbone (en bleu).

À la fois productible par électrolyse de l'eau notamment et convertible en électricité dans une pile à combustible, l'hydrogène est devenu un vecteur d'énergie polyvalent. Plus facile à stocker que l'électricité, il semble appelé à jouer un rôle majeur dans la transition qui s'amorce entre énergies fossiles et renouvelables. Au seul niveau de la thématique *Interactions matériau/gaz sous pression* engagée au LSPM, ex-LIMHP d'ailleurs membre fondateur de l'AFH₂ devenue AFHYPAC (*H₂ Mobilité France*, JO 2024 à énergie 100 % propre, etc.), les recherches le concernant témoignent de cette dynamique.

À l'instar du projet euro-québécois *EQHHP* auquel nous avons participé, les projets pilotes visent souvent à résoudre des problèmes ponctuels puis à élargir la problématique, telles ici la faisabilité et la viabilité de convertir 100 MW d'hydroélectricité en hydrogène transportable outre-mer puis l'exploration de procédés et de marchés tirant parti de cet hydrogène en tant que carburant propre. Un premier retour d'expérience a ainsi pu être fait au titre du projet européen *HyTRAIN* du 6^e PCRD pour lequel nous avons continué d'étudier l'adsorption par les matériaux nanoporeux sous haute pression.

En matière de distribution d'énergie, il est prévu de passer progressivement du gaz naturel à l'hydrogène, en commençant par l'introduction du mélange Hythane[®] compatible avec l'infrastructure existante, déjà en cours de démonstration à l'échelle d'un quartier résidentiel à Dunkerque. Au titre du projet ANR PAN-H *CATHY* auquel nous avons participé, c'est le transport de l'hydrogène pur qui a été anticipé ; afin de délivrer une énergie équivalente à celle du gaz naturel, les gazoducs devront aussi supporter une pression accrue et le choix de l'acier X80 a à ce titre été validé.

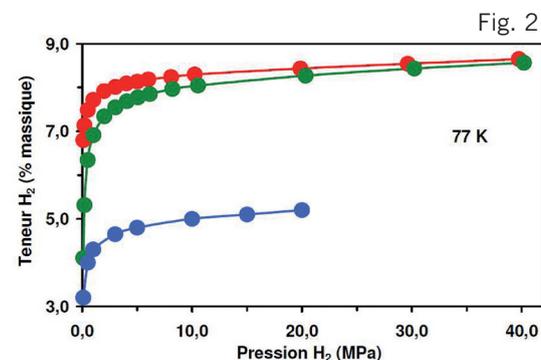


Fig. 1



En matière de mobilité, c'est la compression à 700 bar qui a été choisie comme solution de stockage au titre d'Horizon 2020 pour ravitailler les véhicules en hydrogène. Ce choix n'entrave nullement la recherche d'ab/adsorbants toujours plus performants pour de nombreuses autres applications. En l'occurrence, nos simulations moléculaires d'adsorption sur le graphane laissent prévoir une capacité totale de stockage de 15 % massique.

Il ressort de cet aperçu que la vision prêtée à l'ingénieur Cyrus Smith gagne en acuité ; en ce début de XXI^e siècle, le *Nautilus* serait bel et bien doté d'un système de propulsion anaérobie comportant une pile à combustible.

Références :

- Lamari Darkrim F, Malbrunot P, Tartaglia GP. *Int J Hydrogen Energy* **27** (2002) 193-202.
 Sakintuna B, Lamari Darkrim F, Hirscher M. *Int J Hydrogen Energy* **32** (2007) 1121-40 (article actuellement le plus cité de l'université).
 Briottet L, et al. *Int J Hydrogen Energy* **37** (2012) 9423-30.
 Dicko M, et al. *Int J Hydrogen Energy* **42** (2017) 10057-63.

contact

Laboratoire
des Sciences
des Procédés et
des Matériaux
(LSPM)
CNRS-UPR3407

Directeur :
Khaled Hassouni
01 49 40 34 37
Institut Galilée

En matière de production d'énergie, la conversion de l'électricité excédentaire en hydrogène est à même de pallier l'intermittence dont pâtissent les sources d'énergie renouvelable telles que l'éolien ou le solaire. À l'instar de celui que nous avons contribué à étudier au titre du projet ANR H-PAC *CESTAR* pour un parc éolien de 10 MW devant respecter ses engagements de production sous 24 h à ±15 %, un stockage tampon permet de réinjecter le gaz aux moments opportuns dans les réseaux électrique (après reconversion) ou gazier (par méthanation).

Farida LAMARI

farida.lamari@univ-paris13.fr

Patrick LANGLOIS

patrick.langlois@univ-paris13.fr

Vers des réseaux virtuels sur mesure : entre défis et réalité

Avec le déploiement à large échelle des réseaux à haut débit et la multiplication des applications sur la toile, nous assistons ces dernières années à l'émergence d'un nouveau service consistant à construire des *réseaux virtuels* (dits logiques) sur une plateforme de réseaux physiques appelée *réseau substrat*. Ce service connu sous le nom de la virtualisation permettra de créer des réseaux sur mesure, flexibles et répondant aux besoins des utilisateurs.

La virtualisation dans les réseaux permet de construire des *réseaux virtuels* (ou logiques) au dessus d'une infrastructure de réseaux physiques dite *réseau substrat*. Avec ce concept, l'utilisateur aura l'impression de disposer de plusieurs réseaux séparés et indépendants. Cela devrait permettre de mieux utiliser les ressources tout en réduisant les coûts grâce au partage de l'infrastructure physique. La virtualisation permet en outre de créer un réseau spécifique pour chaque nouvelle tâche comme le test de nouveaux protocoles réseaux, la diffusion de la télévision...

Pour rendre la fonctionnalité de virtualisation, les ressources des réseaux substrat doivent être partagées et allouées aux *réseaux virtuels* sur demande. Sur la figure 1, une demande de création de réseau virtuel constitué de trois nœuds *a*, *b* et *c* et de trois liens *a-b*, *a-c* et *b-c* est reçue. A chaque nœud sont associées des demandes et contraintes à satisfaire. Celles-ci peuvent porter sur les capacités de calcul et la localisation géographique... De même, pour chaque lien virtuel sont associées des demandes et contraintes qui peuvent concerner la bande passante, du délai à la probabilité de panne... Pour supporter efficacement le réseau virtuel de la figure 1, un mappage ou correspondance optimal des nœuds et liens virtuels vers des nœuds et chemins substrat doit être déterminé. Ce problème, connu sous le nom de *Virtual Network Embedding* (VNE), est difficile à résoudre. Sur la figure 1, les nœuds virtuels *a*, *b* et *c* ont été respectivement mappés vers les nœuds substrat *A*, *B* et *C* qui se voient diminués des ressources réclamées par les nœuds virtuels. De même, les liens virtuels *a-b*, *a-c* et *b-c* sont respectivement mappés vers les chemins substrat *A-G-B*, *A-C* et *B-C*. Comme pour les nœuds, chaque lien substrat d'un chemin supportant un lien virtuel doit disposer de suffisamment de ressources pour satisfaire la requête du lien virtuel correspondant.

Plusieurs défis liés aux architectures, implémentations et mappages de réseaux virtuels vers les réseaux substrat doivent être relevés pour offrir le service de virtualisation efficacement. Au niveau de l'architecture, les travaux menés s'accordent à utiliser l'architecture SDN (Software Defined Networking). Cette dernière permet le contrôle et l'administration du réseau dynamiquement via une interface commune et programmable, en faisant abstraction des fonctionnalités de bas niveau. Pour ce faire, SDN sépare le plan de données dont le rôle est de transférer les données du plan de contrôle dont la fonction est de déterminer les routes.

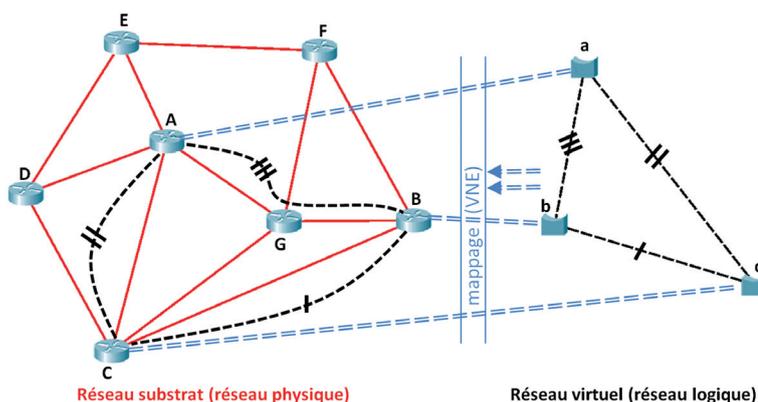


Fig. 1

Plusieurs implémentations de SDN sont aujourd'hui disponibles comme Cisco ONE, NSX de VMware, OpenContrail de Juniper, ONOS, etc. La plupart des implémentations utilise le protocole de communication OpenFlow qui permet d'accéder au plan de données d'un commutateur (switch) ou d'un routeur à travers le réseau.

Si plusieurs travaux ont été accomplis pour proposer des implémentations efficaces et une interface de contrôle unique (SDN), le problème de mappage de réseaux (VNE) optimisant les ressources reste ouvert et suscite beaucoup d'intérêt de beaucoup de chercheurs.

Dans l'équipe réseau du laboratoire L2TI, nous travaillons sur le problème VNE afin de proposer des solutions efficaces pour le support de la virtualisation dans les réseaux inter-domaines. En effet, dans le cadre de ses réseaux, la grande taille du réseau substrat et les politiques commerciales des opérateurs réduisent les échanges et collaboration entre domaines. Nous travaillons également sur la fourniture de réseaux virtuels résistants aux pannes. Nous identifions des réseaux substrat minimisant la probabilité de panne et appliquons les scénarios de protection qui anticipent les pannes pour réparer rapidement les réseaux affectés.

Mohand Yazid SAIDI
saidi@univ-paris13.fr

contact

Laboratoire
de Traitement
et de Transport
de l'Information (L2TI)
EA 3043

Directrice :
Anissa Mokraoui
☎ 01 49 40 40 57
Institut Galilée

Stabilisation de lasers compacts multimodes pour applications embarquées

Les sources laser multifréquences à verrouillage de modes (encore appelées « peignes de fréquences ») ont de nombreuses utilisations dans les laboratoires de métrologie, de physique et d'instrumentation. Dans l'équipe « Métrologie, Molécules et Tests Fondamentaux » du LPL, nous étudions des peignes de fréquences à semiconducteurs compacts ayant vocation à être intégrés dans des sous-systèmes de mesure embarqués ou de télécommunication, pour des applications radar, satellite, instrumentation ou imagerie.

Figure 1 : Caractérisation de la largeur d'un mode optique du peigne de fréquence par battement avec un laser de référence : L'injection optique d'un laser étroit et stabilisé en fréquence conduit à l'affinement du mode d'un facteur 1000 et à sa stabilisation à long terme (meilleure que 5.10^{-12} sur 100 secondes).

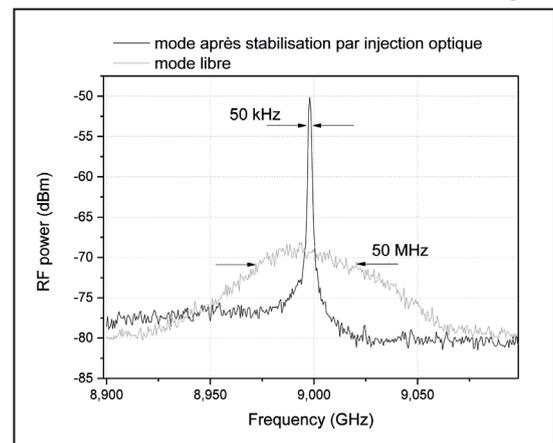
Les sources lasers multifréquences à verrouillage de modes délivrent un ensemble de fréquences optiques régulièrement espacées (les modes du laser) qui présentent entre elles une relation de phase bien définie. L'écart de fréquence entre deux modes appartient au domaine radio-fréquence. Ces sources appelées « peignes de fréquences » ont de nombreuses applications dans les laboratoires de métrologie, de physique et d'instrumentation. L'une des plus spectaculaires est sans doute la possibilité de raccorder des fréquences optiques (fréquences à des centaines de TéraHertz) avec l'horloge atomique au Cesium (l'étalon de fréquence à 10 GHz) en utilisant des lasers femtosecondes. Pour cela, on compare l'écart de fréquence entre deux modes avec la fréquence de l'horloge atomique.

Ces lasers sont actuellement limités à un usage en laboratoire. Cependant des versions plus compactes de même type de laser présentent des potentialités d'applications dans des domaines tels que les télécommunications par fibre optique, les radars et télécommunications par satellite ainsi que de nouvelles technologies d'instrumentation de précision ou d'imagerie TéraHertz.

Notre activité de recherche a débuté il y a trois ans au sein de l'équipe « Métrologie, Molécules et Tests Fondamentaux » avec le soutien du labex First-TF. Elle est née d'une double compétence scientifique : les techniques de stabilisation de lasers sur des transitions moléculaires et les systèmes photoniques à fibre optique. Notre objectif est de réaliser des peignes de fréquences optiques de petite dimension à base de lasers impulsionsnels à semiconducteurs de type Fabry-Perot. Les applications potentielles sont par exemple la génération de multi-porteuses pour les communications optiques cohérentes permettant le transport simultané de grandes quantités d'information, ou encore des sources micro-ondes stables et de grande pureté spectrale générées par battement des modes optiques pour des applications spatiales (synchronisation des données provenant des satellites).

Nous avons dans un premier temps mis au point une grille de fréquences à partir d'un interféromètre optique à fibre, stabilisé sur une transition moléculaire. Cette grille permet la stabilisation de tous nos lasers sur une gamme de 80 nm autour de $1,55 \mu\text{m}$ avec une stabilité relative (qui représente les fluctuations de la fréquence par rapport à la fréquence moyenne) de 1.10^{-12} sur 1000 secondes [1,2]. Elle permet également de verrouiller optiquement le peigne de fréquence avec un laser monofréquence stabilisé (on parle d'injection optique). Le mode injecté recopie la stabilité du laser maître : sa largeur est réduite d'un facteur 1000 et nous avons mesuré une stabilité en fréquence meilleure que 5.10^{-12} sur 100 secondes [3].

Fig. 1



Nous avons montré, pour la première fois à notre connaissance, que la stabilisation d'un des modes du peigne était transférée à l'ensemble du peigne. Nous développons actuellement une version transportable qui nous permettra de réaliser des mesures chez nos partenaires académiques (FOTON Univ. Rennes 2 / CNRS-6082) et industriels (Alcatel-Nokia et Thales).

Références :

- [1] A. Chaouche Ramdane et al., *Applied Optics*, 56(1), 8-14, (2017)
- [2] P. Grüning et al., soumis à *Optics Letters*, (2017)
- [3] A. Chaouche Ramdane et al., présentation orale à CLEO-EQEC (2017)

Vincent RONCIN

vincent.roncin@univ-paris13.fr

Amine CHAOUCHE-RAMDANE

amine.chaouche-ramdane@univ-paris13.fr

Frédéric DU-BURCK

duburck@univ-paris13.fr

Equipe MMTF

(Métrologie, Molécules & Tests Fondamentaux)

contact

Laboratoire
de Physique
des Lasers (LPL)
CNRS - UMR 7538

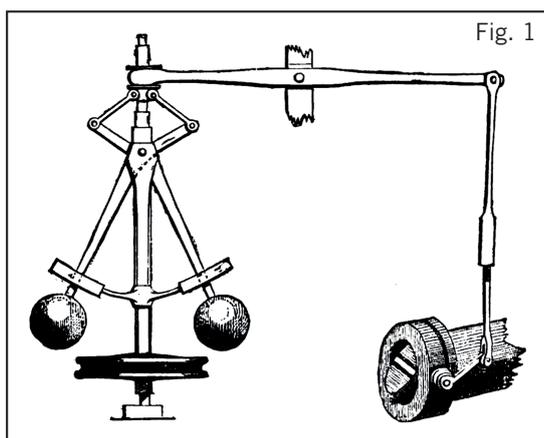
Directeur :
Olivier Gorceix
☎ 01 49 40 39 85
Institut Galilée

Développements mathématiques liés à la stabilisation des systèmes

Problématique millénaire, la stabilisation des systèmes est un champ de recherche très actif. On évoque ici la stabilisation des équations aux dérivées partielles (edp). L'objectif de stabilisation d'un phénomène ainsi modélisé mène souvent à de nouveaux développements mathématiques qui permettent en retour une compréhension fine des solutions de l'edp et du phénomène lui-même.

La stabilisation des systèmes dynamiques est une problématique millénaire.

Déjà dans l'Antiquité, la mise au point d'une clepsydre pour une mesure précise du temps par Ctesibios fit appel à ce concept. La machine à vapeur, inventée au 17^{ème} siècle et emblématique de la révolution industrielle du 19^{ème}, n'aurait pu être utilisée efficacement sans régulation de sa puissance, des variations brutales se révélant désastreuses. Le régulateur à boules que James Watt inventa en 1788 opère une rétroaction sur la machine et sera déterminant pour son développement. La machine le fait tourner ; une augmentation de vitesse écarte les boules par inertie et, via un système de tringles, ferme une vanne d'admission de la vapeur dans le piston de la machine ; inversement, une réduction de la vitesse rapproche les boules induisant une ouverture de cette vanne. La vitesse de rotation de la machine se trouve ainsi stabilisée.



Mathématiquement, la modélisation de la stabilisation d'un système dynamique prend la forme

$$\frac{d}{dt}y(t) = f(t, y(t)) + BKy(t),$$

où $f(t, y)$ modélise la dynamique, B le mode d'action que l'on peut avoir et $Ky(t)$ la mesure (partielle) de l'état $y(t)$, qui via B , opère une rétroaction sur le système. La question naturelle est alors : avec B donné peut-on déterminer K de manière à stabiliser un équilibre du système ? L'état $y(t)$ peut être un vecteur en dimension finie, comme pour la modélisation d'un système mécanique simple tel qu'un pendule inversé, ou vivre dans un espace de dimension infinie, comme pour la représentation du champ de déplacement pour un corps élastique ou un fluide. Pour les systèmes linéaires en dimension finie, c'est-à-dire avec un état décrit par un vecteur $y(t)$ de \mathbb{R}^n et $f(t, y) = A(t)y$, avec $A(t)$ une matrice carrée $n \times n$, un critère algébrique fournit une réponse complète [3]. En dimension infinie, un tel critère n'existe pas. Chaque système étudié nécessite des développements mathématiques *ad hoc*. Les équations aux dérivées partielles (edp) modélisant des phénomènes physiques offrent un vaste champ d'explorations et leurs propriétés de stabilisation font partie des domaines de recherche du Laga.

Souvent, des bilans d'énergie permettent de concevoir K qui opère une stabilisation. La question devient alors : à quelle vitesse cette stabilisation se produit-elle ? Prenons l'exemple de l'équation des ondes acoustiques dans un domaine Ω borné qui est linéaire et qui modélise des petits déplacements fonction du temps t et de l'espace x , $u = u(t, x)$, par rapport à l'état de repos $u = 0$,

$$\partial_t^2 u(t, x) - \Delta_x u(t, x) + \chi(x) \partial_t u(t, x) = 0, \quad t \in [0, +\infty), x \in \Omega.$$

L'état $u(t, x)$ vit ici dans un espace de dimension infini, typiquement dans un espace de fonctions de carré sommable. Ici nous avons muni l'équation des ondes d'un terme d'amortissement $\chi \partial_t u$ qui agit dans la région ω où $\chi(x) \geq 0$ ne s'annule pas et qui produit la stabilisation vers l'équilibre $u = 0$. En fait, l'énergie du système décroît exponentiellement si la région ω capte tous les rayons de l'optique géométrique [1]. Cette condition géométrique forte est illustrée dans la Figure 2.

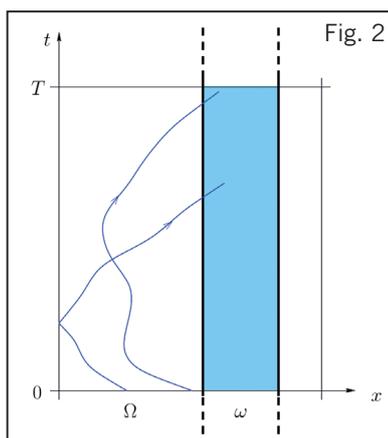


Figure 1 : Principe du régulateur de Watt.

Figure 2 : Condition géométrique pour la stabilisation exponentielle des ondes. La région ω est la région où l'amortissement peut agir.

Une démonstration de ce résultat se fonde sur la compréhension des phénomènes de concentration d'énergie réalisables pour une onde et qui se produisent précisément le long des rayons. Une généralisation de ce type de résultat aux cas de systèmes comme ceux des ondes élastiques ou électromagnétiques est un champ très actif de recherche tout comme les cas d'edp non linéaires (ondes, Schrödinger, Navier-Stokes,...).

Les exemples historiques sont empruntés à [2] qui constitue un exposé général et accessible de la stabilisation des systèmes.

Références :

- [1] C. Bardos, G. Lebeau, and J. Rauch, SIAM J. Control Optim. 30 (1992), 1024-1065.
- [2] J.-M. Coron, BNF, 11 mai 2011. www.ljll.math.upmc.fr/coron/Documents/Videos-Coron.html
- [3] R. Kalman, Y.-C. Ho et K. Narendra, Contributions to Differential Equations 1 (1963), 189-213.

Jérôme LE ROUSSEAU
jlr@math.univ-paris13.fr

contact

Laboratoire Analyse,
Géométrie
et Applications (LAGA)
UMR 7539 CNRS

Directeur :
Philippe Souplet
☎ 01 49 40 36 02
Institut Galilée

Des réactions chimiques activées par plasmons

La fonctionnalisation de surfaces nanométriques est un défi de la chimie et de la physique. Elle consiste à donner une fonction dédiée à une nanostructure, qui pourra être exploitée à des fins technologiques mais aussi de diagnostic ou de thérapies. Nous avons récemment montré par spectroscopie Raman exaltée de surface que les plasmons localisés de surface pouvaient être exploités pour activer certaines réactions chimiques à l'échelle nanométrique.

Figure 1 :
La réaction thiol-ene activée sur une sélection de NPM grâce à l'excitation de PSL

Figure 2 :
Augmentation de l'intensité SERS du thiophénol (molécule dessinée en rouge) en fonction du temps. Dans le cas de la réaction thiol-ene classique (courbe noire) l'intensité atteint son maximum en 10 minutes. Le greffage spontané du thiophénol (courbe rouge, NC1) permet la même observation au bout de 30 minutes. La faible intensité de la courbe verte (NC2), montre que le thiophénol ne remplace pas les molécules déjà présentes sur la NPM. Finalement, la très faible intensité de la courbe bleue (NC3) montre que la présence de l'initiateur est indispensable à l'observation du thiophénol à la surface de la NPM.

contact

Laboratoire de Biomatériaux et Polymères pour la Santé (LBPS)

Laboratoire de Chimie, Structures et Propriétés de Biomatériaux et d'Agents Thérapeutiques (CSPBAT) UMR 7244

Equipe Spectroscopie des Biomolécules et des Milieux Biologiques (SBMB)

Directeur :
Philippe Savarin
01 49 40 33 52
Institut Galilée

Les plasmons localisés de surfaces (PSL) sont des oscillations du nuage électronique de nanoparticules métalliques (NPM) lors de leur interaction avec la lumière. Depuis une quarantaine d'année, les PSL sont utilisés pour exalter la diffusion Raman. L'interaction de la lumière visible avec des molécules active la vibration de liaisons inter-atomiques ce qui a pour conséquence une diffusion de la lumière à une longueur d'onde différente de la longueur d'onde incidente. La diffusion Raman, permet ainsi d'obtenir une signature moléculaire d'un matériau. Bien que très puissante, la spectroscopie Raman est une technique qui manque de sensibilité. L'utilisation des PSL permet d'exalter la diffusion Raman : l'idée est alors de placer les molécules d'intérêt à proximité de NPM et d'exciter les PSL à une longueur d'onde donnée qui permettra également l'étude de la diffusion Raman. Cette technique appelée couramment SERS (Surface Enhanced Raman Spectroscopy) permet d'exalter l'intensité du signal Raman d'un facteur d'environ 10^8 .

Les physiciens s'accordent sur le fait que cette exaltation provient d'un effet électromagnétique (responsable de la plus grosse partie de l'exaltation) et un effet chimique. Le premier effet provient du champ électromagnétique créé par le PSL, qui va interagir avec le champ électromagnétique de la lumière incidente et de la lumière diffusée pour en exalter l'intensité. L'effet chimique est moins bien compris et décrit, des transferts d'électrons entre la molécule et la NPM sont sans doute à l'origine ainsi que le changement de la structure énergétique de la molécule (notamment, les niveaux d'énergies vont s'élargir à proximité de la NPM dont le PSL est excité).

De cette description vient que les PSL pourraient être exploités dans certaines réactions chimiques. Cette idée commence à émerger depuis une petite dizaine d'années. Dans le cadre de sa thèse, soutenue début 2017, I. Tijunelyte a montré qu'il était possible d'exploiter le PSL pour activer la réaction thiol-ene. Cette réaction se produit entre un groupe thiol (SH) et un groupe alcène (double liaison carbone). Elle est activée en présence d'un initiateur moléculaire et la présence d'un rayonnement UV ou d'une élévation de température.

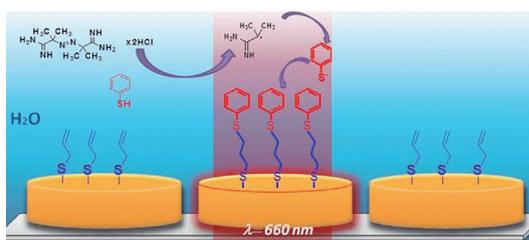


Fig. 1

La procédure consiste (Fig. 1) en la fonctionnalisation de la surface de NPM d'or lithographiées par des molécules linéaires thiolées à une extrémité (il existe une forte affinité entre l'or et le groupe thiol) et présentant un groupe alcène à l'autre extrémité. Ces NPM sont ensuite mises en présence d'une molécule thiolée (le thiophénol) et de l'initiateur moléculaire. La taille des NPM a permis de réaliser l'expérience à la résonance de PSL. Qui plus est, la longueur d'onde utilisée (660 nm) est très éloignée de l'UV et nous ne sommes donc pas dans la configuration d'une réaction thiol-ene classique. Un spectre SERS a été acquis toutes les minutes pour contrôler l'intensité du spectre du thiophénol. Cette expérience a été confrontée à trois expériences témoins. Lorsque l'initiateur est absent (Fig. 2, courbe bleue) ou que la molécule présente à la surface de la NPM ne présente pas d'alcène (Fig. 2, courbe verte), le thiophénol n'est que très peu détecté. Le greffage spontané du thiophénol sur la NPM (Fig. 2, courbe rouge), c'est-à-dire alors qu'elle n'a pas été fonctionnalisée, existe mais n'est pas comparable au signal détecté dans le cas de la réaction thiol-ene.

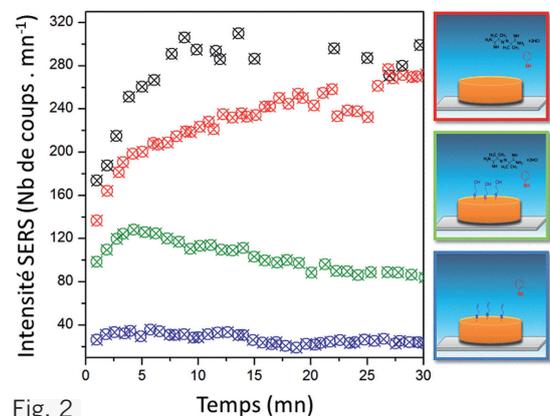


Fig. 2

Cet effet peut être expliqué de plusieurs manières. Tout d'abord le PSL entraîne une élévation de température à proximité des NPM qui permet à l'initiateur de jouer son rôle dans la réaction. L'élévation de température n'est cependant pas assez élevée pour expliquer seule la rapidité de la réaction. Il existe donc sans doute un processus de transfert électronique rendu possible par la proximité de l'initiateur et de la NPM.

La nano-plasmonique chimique n'en est qu'à ses balbutiements. Nous sommes en train de rédiger un article montrant que dans le cadre d'une autre réaction chimique, il est possible de n'exploiter que les formidables propriétés électroniques des PSL pour fonctionnaliser des NPM lithographiées.

Références :

I. Tijunelyte, E. Guénin, N. Lidgi-Guigui, F. Colas, J. Ibrahim, T. Toury and M. Lamy de la Chapelle, *Nanoscale*, 2016,8, 7105-7112

Nathalie LIDGI-GUIGUI
nathalie.lidgi-guigui@univ-paris13.fr

Le futur revêtement biodégradable de stents coronaires : le PDMMLA

La biocompatibilité, les propriétés thermomécaniques et la capacité de libérer un médicament sont les principaux critères du choix d'un revêtement de stents à élution médicamenteuse.

Grâce à ses propriétés, le PDMMLA peut détrôner les matériaux qui ont été adoptés depuis plusieurs décennies.

Selon l'organisation mondiale de la santé, les maladies cardiovasculaires sont la première cause de mortalité. L'athérosclérose, par son implication dans plusieurs pathologies cardiovasculaires, est la maladie la plus préoccupante dans les pays développés. C'est une maladie silencieuse définie par la formation d'une plaque d'athérome dans les artères qui est située au niveau sous endothélial et qui réduit la lumière artérielle voire obstruer complètement l'artère. L'implantation d'un stent métallique au niveau du rétrécissement ou de l'occlusion est la méthode la plus utilisée afin d'éliminer cette plaque athéromateuse. Ce dispositif a une résistance suffisante pour permettre la revascularisation. En revanche, la resténose intra-stent est la complication majeure liée à ce traitement. Elle survient dans 20 à 30% des cas après l'intervention par une réobstruction partielle de l'artère traitée. La resténose est caractérisée par l'endommagement des cellules endothéliales (CE_s), la prolifération et la migration des cellules musculaires lisses (CML_s) et le phénomène de corrosion de la surface du métal.

Les stents à élution médicamenteuse (SEM_s) à base de revêtement polymères biodégradables sont utilisés pour traiter la resténose intra-stent associée aux stents métalliques nus. Les SEM_s disponibles actuellement utilisent une matrice polymère à base de bio-polyesters. Ils sont utilisés comme systèmes de libération contrôlée de principes actifs, notamment le poly(acide lactique) (PLA). Ces polymères présentent plusieurs avantages liés à leur biodégradabilité, biocompatibilité (capacité d'un matériau à être accepté par l'organisme vivant tout en assurant sa fonction avec une réponse appropriée et sans effets indésirables) et bioassimilabilité (transformation totale d'un corps étranger par des microorganismes en CO₂, CH₄, H₂O, etc... par l'organisme). Certains stents actifs fabriqués à partir de ces biomatériaux ont été commercialisés. Ces matériaux associés aux molécules antiprolifératives des CMLs ont permis une réduction significative des taux de resténose.

Cependant, l'élaboration d'un polyester, qui en plus de ses propriétés présente la capacité d'être chimiquement modifiable et fonctionnalisable reste un défi.

En effet, une intense activité de recherche scientifique et médicale a porté au cours de cette dernière décennie sur le développement d'un biomatériau qui présente de bonnes propriétés mécaniques accélérant la ré-endothélialisation, libérant un principe actif et se dégradant complètement.

Dans ce contexte, le laboratoire LVTS s'intéresse aux dérivés du poly(acide 3,3-diméthylmalique) (PDMMLA) comme revêtement bioactif de stents coronaires (Figure 1). Ce polymère original est biodégradable, biocompatible. Il peut être modifié chimiquement pour greffer un principe actif sur sa chaîne macromoléculaire.

La surface du revêtement polymère est définie par sa partie externe qui est en contact direct avec le sang. Sa biocompatibilité est généralement modulée en faisant varier leur rapport hydrophile/hydrophobe. Elle dépend de plusieurs facteurs : composition chimique, charge des matériaux, rugosité et morphologie, mouillabilité superficielle et énergie de surface. Ainsi, les copolymères PDMMLA fonctionnels présentant un temps de dégradation satisfaisant ont été synthétisés sur mesure grâce aux pourcentages prédéfinis des groupements hydrophile et hydrophobe pour satisfaire un temps de biodégradation inférieur à 6 mois et des propriétés physicochimiques et biologiques adéquates.

Figure 1 : Structure chimique et propriétés physicochimiques et biologiques du PDMMLA

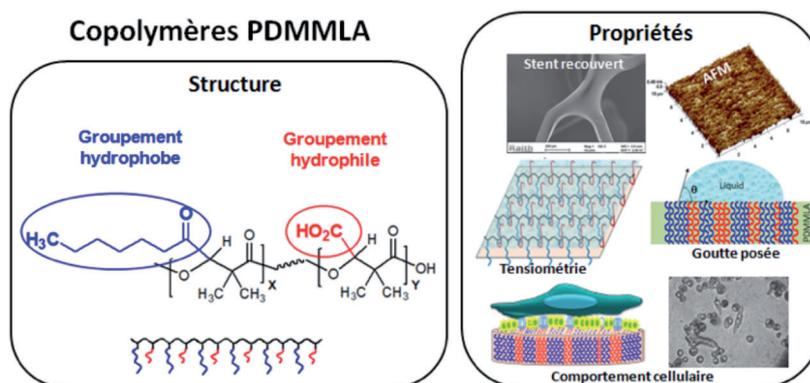


Fig. 1

Ils présentent une réponse compatible au contact des cellules endothéliales et de bonnes propriétés thermomécaniques (stabilité thermique évaluée par une étude de TGA "Thermo-Gravimetric Analysis" et une température de transition vitreuse T_g inférieure à la température corporelle mesurée par DSC "Differential Scanning Calorimetry"), rhéologiques (caractère viscoélastique) et de surface (surface lisse et plane, de bonnes propriétés de mouillage et des énergies de surface faibles), ce qui leur confèrent un bon comportement de flexibilité des chaînes polymères pour suivre le déploiement du stent sans provoquer sa défaillance. Cela donne au PDMMLA un grand potentiel pour leur utilisation dans le domaine cardiovasculaire (Figure 1).

En comparaison avec le PLA qui possède un caractère hydrophobe, une vitesse de dégradation très lente et une trop faible prolifération des CE_s, le PDMMLA représente un meilleur revêtement de stent grâce à ses propriétés de surface, biologiques et d'hydrolyse.

contact

Laboratoire de Recherche Vasculaire Translationnelle (LVTS) INSERM U1148

Directeur :
Didier Letourneur
☎ 01 49 40 40 90
Institut Galilée

Christel BARBAUD
barbaud@univ-paris13.fr

Rima BELIBEL
rima.belibel@edu.univ-paris13.fr

Nouvelle approche pour détecter les virus informatiques

De nos jours, les logiciels malveillants sont devenus une menace critique pour la sécurité. Il est alors nécessaire d'avoir des antivirus puissants. Les antivirus commerciaux existants ne sont pas robustes et sont facilement contournables par les nouveaux virus. D'où l'utilité de trouver des techniques plus robustes. Cet article expose le problème des antivirus existants et propose un nouvel antivirus basé sur une approche innovante développée dans l'équipe LCR du LIPN.

Le nombre de malwares qui a produit des incidents en 2010 est plus de 1,5 milliards. Un malware peut apporter de graves dommages, par exemple, le ver MyDoom a ralenti l'accès mondial à internet de 10 % en 2004 ; les autorités chargées de l'accident en 2008 du vol Spanair 5022 ont découvert qu'un système informatique central utilisé pour surveiller les problèmes techniques de l'avion a été infecté par des logiciels malveillants.

Une entreprise mondialement connue indique sur son blog qu'elle a été contactée par les Nations Unies (UIT Union Internationale des Télécommunications) pour fournir une assistance dans le suivi d'un malware inconnu. Ce malware se manifeste en particulier par d'étranges suppressions de données sur les ordinateurs des pays du Moyen Orient. L'enquête a abouti à la découverte du logiciel malveillant Flame. Flame a été déployé pour des attaques ciblées dans un des pays de la région. Il est resté actif depuis plus de 5 ans sans être détecté par les logiciels antivirus. Ainsi, il est crucial d'avoir des détecteurs de virus efficaces et à jour.

Les systèmes antivirus existants utilisent différentes techniques de détection pour identifier les virus. Parmi celles-ci nous pouvons citer : (1) La technique d'émulation de code où le virus est exécuté dans un environnement virtuel pour être détecté, et également (2) la recherche de séquences d'instructions qui caractérise la propriété du virus et que l'on appelle signature. Dans ce cas, un fichier est déclaré comme un virus s'il contient une séquence d'instructions de code binaire qui correspond à une des signatures connues. Chaque variante de virus a une signature correspondante. Ces techniques telles que celles décrites précédemment ont des limites.

En effet les techniques d'émulation ne peuvent vérifier le comportement du programme que dans un intervalle de temps limité. Quant aux systèmes basés sur la recherche de signatures, il est très facile pour les développeurs de virus de les contourner. Il suffit d'appliquer les techniques d'obfuscation en changeant la structure du code tout en gardant les mêmes fonctionnalités, de sorte que la nouvelle version ne contienne pas la signature connue. Les techniques d'obfuscation peuvent consister à insérer du code inutile, à remplacer des instructions par d'autres qui leur sont équivalentes, etc. Les auteurs de virus mettent à jour leurs virus fréquemment pour les rendre indétectables par ces systèmes antivirus.



Solution proposée par l'équipe LCR du LIPN

Pour contourner les limitations ci-dessus, au lieu d'exécuter le programme ou l'analyser de manière syntaxique, les détecteurs de virus doivent utiliser des techniques d'analyse permettant de vérifier le comportement (pas la syntaxe) du programme de manière statique, c'est-à-dire sans l'exécuter. Pour atteindre cet objectif, des membres de l'équipe LCR du LIPN proposent d'utiliser le model-checking pour la détection de virus. Ils ont développé un nouvel antivirus basé sur une nouvelle technique qui consiste à réduire la détection de virus au model-checking des automates à pile. Cet outil a permis de détecter 600 virus réels et 200 nouveaux virus. Il a également permis de classer 400 programmes inoffensifs comme bénins. Dans plusieurs cas, ce nouveau logiciel a été plus efficace que les anti-virus existants.

En effet, cet outil a permis de détecter plusieurs virus que des anti-virus bien connus et largement utilisés n'étaient pas capables de détecter. En particulier, il a permis de détecter le virus Flame, qui est le virus espion le plus complexe qui a été actif pour plus de 5 ans sans qu'aucun antivirus le découvre.

Références :

- [1] Fu Song et Tayssir Touili. Pushdown model checking for malware detection. International Journal on Software Tools for Technology Transfer 16(2) : 147-173. 2014
- [2] The Khanh Huu Dam et Tayssir Touili. Automatic Extraction of Malicious Behaviors. 11th International Conference on Malicious and Unwanted Software 2016.
- [3] Huu-Vu Nguyen et Tayssir Touili. CARET Model Checking For Pushdown Systems. 32nd ACM SIGAPP Symposium On Applied Computing 2017.

contact

Laboratoire
d'Informatique de
Paris-Nord (LIPN)
UMR CNRS 7030

Directrice :
Laure Petrucci
☎ 01 49 40 35 79
Institut Galilée



Photo : © Thi Ngoc Phuong Nguyen



Photo : © Jessica Romano

DIPLÔMÉ(E) D'UN BAC S OU D'UN BAC ES SPÉCIALITÉ MATHÉMATIQUES ?

Nos formations
en Sciences
et Technologie



À L'INSTITUT GALILÉE,
VOTRE FORMATION
ET VOTRE EMPLOI
SONT NOS RÉALITÉS

- Licences
- Masters, Doctorats
- Classes préparatoires
- Ingénieurs Sup Galilée



dans les domaines

- des Mathématiques et Applications,
- de l'Informatique,
- de la Physique et de la Chimie,
- des Réseaux et Télécommunications,
- de l'Énergétique,
- des Nanotechnologies,
- des Biomatériaux,
- et du Génie des Procédés

