



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

AMBASSADE DE FRANCE AU JAPON
SERVICE POUR LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE

Les matériaux au Japon : principaux acteurs et projets

Rédacteur :

Pierre FEUARDANT

Chargé de mission en Sciences et technologies de l'environnement et des
matériaux

Sous la responsabilité de :

Sébastien CODINA

Attaché pour la Science et la Technologie
Chef du pôle Sciences et technologies de l'environnement et des matériaux

Novembre 2016

Table des matières

| | |
|---|----|
| Introduction..... | 1 |
| I- Stratégie du Japon en matière de recherche sur les matériaux | 2 |
| 1- Un programme interministériel de promotion de l'innovation pour les matériaux..... | 3 |
| 2- Instituts de recherche dépendant directement des ministères..... | 3 |
| 3- Agences de financement gouvernementales japonaises | 7 |
| II- Panorama de la recherche au Japon | 9 |
| 1- Métaux et alliages | 10 |
| 2- Polymères et plastiques | 12 |
| 3- Céramiques et composites | 14 |
| III- Autres acteurs japonais de la recherche sur les matériaux | 16 |
| 1- World Premier International Research Center Initiative (WPI)..... | 16 |
| 2- Instituts de recherche universitaires notables | 19 |
| 3- Entreprises japonaises..... | 23 |
| IV- Acteurs et projets de la collaboration franco-japonaise..... | 24 |
| 1- Unités Mixtes Internationales (UMI)..... | 24 |
| 2- Laboratoires Internationaux Associés (LIA)..... | 26 |
| 3- Autres groupements de recherche internationaux..... | 28 |
| 4- Programmes et projets franco-japonais..... | 29 |
| Conclusion | 33 |

Introduction

Les matériaux jouent un rôle primordial dans la plupart des domaines scientifiques, parmi lesquels il est possible de citer de manière non exhaustive l'énergie, l'optique et optronique, la médecine, l'électronique, l'ingénierie des transports, le génie civil ou encore le textile. Une recherche performante sur les matériaux, tant fondamentale qu'appliquée, est donc une composante essentielle à la compétitivité d'un pays dans ces domaines. C'est le cas du Japon, pays dont l'automobile et l'électronique comptent parmi les fleurons de l'industrie.

Lors de la rédaction de ce rapport, une division des matériaux en trois classes selon le type des liaisons impliquées sera adoptée :

- Les métaux et leurs alliages (caractérisés par des liaisons métalliques)
- Les polymères organiques (liaisons covalentes et liaisons secondaires)
- Les céramiques (liaisons ioniques et liaisons covalentes)

A cela s'ajoutent les matériaux composites, assemblages de matériaux non miscibles issus des classes précédentes.

L'objectif du présent rapport est de proposer une vue d'ensemble de la recherche au Japon dans le domaine des sciences des matériaux au moment de sa rédaction. Pour cela, il dressera dans un premier temps une liste non exhaustive des instituts les plus actifs au Japon pour chacune des classes de matériaux citées en introduction, associés à leurs chercheurs les plus prolifiques en termes de publications et aux thématiques sur lesquelles portent leurs recherches. Il explicitera ensuite le rôle des principaux acteurs de la recherche japonaise et de la collaboration avec la France, avant de citer les projets majeurs lancés par le gouvernement japonais.

I- Stratégie du Japon en matière de recherche sur les matériaux

Le Ministère japonais de l'Éducation, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie (MEXT) publie chaque année un Livre Blanc sur la Science et la Technologie qui revient sur les avancées récentes, présente les objectifs de la recherche japonaise et définit les directives du gouvernement en mettant en lumière les domaines prioritaires pour l'année à venir. L'édition de 2015¹ accorde une place particulière à deux matériaux spécifiques : les photocatalyseurs et les électroaimants.

Les **photocatalyseurs**, ajoutés au verre des vitres ou à la peinture des murs, permettent déjà aujourd'hui de garder ceux-ci propres et dénués de bactéries. Mais ils trouvent également de nombreuses autres applications encore en cours d'étude, notamment dans le traitement du cancer, la purification des sols pollués ou encore la production d'hydrogène – vecteur énergétique auquel le Japon accorde une place stratégique² – par photoélectrolyse de l'eau.

Le Japon a fait de la mise en service des trains à sustentation magnétique, dits Maglev, une autre de ses priorités. C'est une des raisons pour laquelle le gouvernement met l'accent sur la recherche sur les **électroaimants supraconducteurs**, notamment sur ceux efficaces à haute température (comparativement aux 269°C au-dessous de zéro utilisés actuellement sur les lignes tests). Les électroaimants trouvent aussi des applications dans le domaine médical et imagerie à résonance magnétique (IRM).

L'agence de financement dépendante de ce ministère, la *Japan Science and Technology Agency*, a dans un rapport sur la recherche et le développement dans le domaine des matériaux et des nanotechnologies publié en 2015³ fait l'état des défis à relever par la recherche japonaise sur les matériaux pour l'environnement, l'énergie et les infrastructures sociales ; la santé et la médecine ; l'information, la communication et l'électronique ; et la fabrication des matériaux employés dans ces domaines.

Quant au Ministère japonais de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie (METI), il soutient principalement les activités de recherche ayant des applications dans les industries ayant un volume de production important, comme les plastiques et autres produits issus des hydrocarbures pour lesquels le ministère promeut une chimie plus verte et durable, et les activités visant à réduire la consommation énergétique de l'industrie, notamment par l'innovation sur les semi-conducteurs et l'électronique.

La volonté de remplacer et d'économiser les matières premières stratégiques et critiques telles que les terres rares, dont le Japon est un des plus importants consommateurs notamment à cause de son industrie électronique, est également une constante dans les priorités du gouvernement japonais.

¹ Une traduction en anglais de l'édition de 2015 est disponible sur le site internet du MEXT : <http://www.mext.go.jp/en/publication/whitepaper/title03/detail03/1372827.htm>

² L'hydrogène comme vecteur énergétique privilégié des Jeux Olympiques de 2020 a fait l'objet d'un précédent rapport disponible ici : www.ambafrance-jp.org/L-hydrogene-energie-en-vue-des-Jeux-Olympiques-de-Tokyo-2020

³ Le rapport est disponible en anglais ici : <https://www.jst.go.jp/crds/pdf/en/CRDS-FY2015-XR-07.pdf>

Celui-ci a donc lancé dès 2007 une « **Stratégie des Éléments**⁴ » reposant en partie sur la recherche de matériaux innovants.

1- Un programme interministériel de promotion de l'innovation pour les matériaux

Le Conseil pour la Science, la Technologie et l'Innovation (CSTI) est l'un des quatre Conseils sur les politiques importantes du Cabinet Office, le Bureau du Cabinet japonais chargé des affaires courantes et dirigé par le Premier Ministre Shinzo ABE. Le CSTI est composé du Premier Ministre, du Premier Secrétaire du Cabinet Yoshihide SUGA, ainsi que des ministres concernés (Politique pour la Science et la Technologie ; Affaires Internes et Communication ; Finances ; Education, Culture, Sports, Science et Technologie ; Economie, Commerce et Industrie) et des experts. Le CSTI a lancé en 2014 onze *Strategic Innovation Promotion Programs* (SIP), programmes interministériels de promotion de l'innovation stratégique.

L'un d'entre eux, nommé *Structural Materials for Innovation* (SM⁴) est centré sur le développement de matériaux solides, légers et résistant à la chaleur pour des applications principalement dans les domaines des transports (il vise notamment à encourager l'industrie aéronautique japonaise) et de l'énergie (économie d'énergie et réduction d'émissions de CO₂). Financé à hauteur de 3,5 milliards de yens par an, il s'agit du second plus important programme SIP en termes de budget. Il est dirigé par le Professeur Teruo KISHI, ancien président du NIMS (2001-2009). Le Professeur KISHI reste par ailleurs très impliqué dans le domaine des matériaux puisqu'il dirige également l'*Innovative Structural Materials Association* et la *Japanese Society for Strength and Fracture of Materials* et conseille le ministère japonais des affaires étrangères sur les questions scientifiques. Il est de plus très actif au sein de la stratégie des éléments.

2- Instituts de recherche dépendant directement des ministères

Les principaux instituts de recherche ne dépendant pas d'une université mais directement des ministères japonais sont chargés de mettre en œuvre les directives gouvernementales, et ont donc un caractère stratégique aux yeux du gouvernement japonais. Ils bénéficient pour cette raison du statut d'*Independant Administrative Institution* (IAI) ou de *National Research Development Agency* (NRDA)⁵. Les trois instituts cités dans cette partie, le *National Institute for Material Science* (NIMS), le

⁴ La stratégie des éléments au Japon a fait l'objet d'un précédent rapport disponible ici : <http://www.ambafrance-jp.org/La-strategie-des-elements-au-Japon>

⁵ Les *National Research Development Agencies* (NRDA) et *Independant Administrative Institutions* (IAI) sont des structures chargées de la mise en application des stratégies décidées par les ministères. Elles utilisent un mode de fonctionnement proche de celui d'une entreprise privée, les NRDA étant plus axées sur la recherche et le développement. Ces statuts ont été créés suite à la volonté du gouvernement de séparer la planification et l'opérationnel.

National Institute for Advanced Industrial Science and Technology (AIST) et le *Rikagaku Kenkyusho (RIKEN)* ont de plus été désignés par le CSTI comme étant les trois seuls NRDA dits « spéciaux », ce qui leur confère une plus grande souplesse dans la gestion administrative ainsi qu'une dotation budgétaire conséquente. Très performants, leurs compétences sont reconnues mondialement et tous figurent parmi les vingt instituts de recherche les plus innovants au monde⁶.

a- National Institute for Materials Science (NIMS)

Le *National Institute for Material Science (NIMS)* est né en 2001 de la fusion du *National Research Institute for Metals (NRIM)* et du *National Institute for Research in Inorganic Materials (NIRIM)*. Il a été doté en 2015 du nouveau statut de NRDA du Ministère japonais de l'Éducation, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie (MEXT). L'institut était doté d'un budget annuel de 24,8 milliards de yens en 2015 dont 12 milliards de yens provenant du MEXT et employait 1 489 personnes dont 1 156 postes techniques ou de recherche au début de l'année 2016. Très ouvert sur l'international, il comptait alors 250 chercheurs étrangers provenant de plus de 30 pays. Il est présidé par le Professeur Kazuhito HASHIMOTO.

La recherche au NIMS suit étroitement les directives gouvernementales évoquées dans la première partie de ce rapport, comme le montrent ses recherches sur les photocatalyseurs pour la remédiation des sols pollués. L'institut mène également des activités de recherche et développement de nouveaux matériaux pour la supraconduction et la génération et le stockage d'électricité, et travaille en parallèle à l'amélioration des cellules photovoltaïques afin de développer un réseau électrique plus performant et respectueux de l'environnement. Il développe également un acier plus résistant aux contraintes physiques et à la chaleur pour prévenir plus efficacement les risques d'endommagement des réacteurs nucléaires.

Plus généralement, les activités de recherche du NIMS suivent trois axes principaux :

- les matériaux pour l'énergie, l'environnement et les ressources, domaines qui constituent des défis pour la société auxquels le NIMS répond par une innovation verte,
- l'innovation au service des technologies clés de fabrication et de caractérisation des matériaux,
- les matériaux à l'échelle nanométrique au service de la création de matériaux innovants.

Ces activités ont à l'échelle mondiale un impact très important sur les sciences des matériaux. On peut notamment citer deux chercheurs japonais, le Docteur Kenji WATABANE et le Docteur Takashi TANIGUCHI ayant reçu le *Japan Research Front Award 2016* pour leurs travaux sur les propriétés optiques et électroniques des hétérostructures de nitrure de bore hexagonal et graphène⁷.

Le NIMS collabore activement avec l'industrie et a établi des centres de recherche conjoints avec plusieurs entreprises japonaises et à l'international, parmi lesquels :

⁶ D'après Thomson-Reuters : <http://www.reuters.com/article/us-innovation-rankings-idUSKCN0WA2A5>

⁷ Selon Thomson-Reuters <http://thomsonreuters.com/en/press-releases/2016/july/japan-scientists-are-leading-global-research-in-eight-emerging-areas.html>

- Le *NIMS-TOYOTA Materials Center of Excellence for Sustainable Mobility*, qui développe des matériaux de nouvelle génération pour l'automobile, plus particulièrement pour les batteries embarquées ;
- Le *NIMS-DENKA Center of Excellence for Next Generation Materials*, en collaboration avec la *Denki Kagaku Kogyo Kabushiki Kaisha (DENKA)*, afin de consolider l'innovation conjointe sur des thèmes de recherches communs tels que les sources d'électrons pour microscopes électroniques ou le phosphore pour les diodes blanches ;
- Le *NIMS Saint-Gobain Center of Excellence for Advanced Materials*, qui travaille sur des concepts de matériaux innovants pour la construction et l'industrie, notamment sur les films minces d'oxydes destinés à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.
- Le *Rolls-Royce Centre of Excellence for Aerospace Materials*, où le *High Temperature Materials Center* du NIMS développait en collaboration avec Rolls-Royce des superalliages monocristallins à base de nickel capables de résister à de très hautes températures pour des applications en aéronautique (pales de turbines de réacteurs d'avion de ligne B787) ;

Le NIMS est par ailleurs très ouvert à l'international et entretient de nombreuses et étroites relations avec la France. Le CNRS et le NIMS ont en effet signé le 25 mai 2012 pour une durée de 5 ans un accord qui a été suivi de la création de deux structures de coopération, l'Unité Mixte Internationale *Laboratory for Innovative Key Materials and Structures (LINK)*, en partenariat avec l'industriel Saint-Gobain, ainsi que le Laboratoire International Associé *Néel Institute – NIMS for Nanoscience and Energy for the Future (3N-Lab)*, que nous développerons dans la quatrième partie de ce rapport.

Un mémorandum d'entente a de plus été signé le 30 septembre 2014 entre le NIMS, le CEA et les partenaires fondateurs du campus *Grenoble Innovation for Advanced New Technologies (GIANT)* concernant la magnétoscience, les matériaux supraconducteurs HTC pour la génération de champs magnétiques et les nanosciences, pour une durée de 3 ans. Cet accord, désignant GIANT comme le premier *Collaborative Research Center* du NIMS en Europe, fait suite à un accord de partenariat entre les villes de Grenoble et Tsukuba en novembre 2013. Au titre de cet accord, le NIMS dispose d'une antenne au sein du campus GIANT à Grenoble.

b- National Institute of Advanced Industrial Science and technology (AIST)

Le *National Institute for Advanced Industrial Science and Technology (AIST)* est quant à lui le principal institut de recherche du Ministère japonais de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie (METI), avec un effectif de 2 970 personnes dont 2 284 chercheurs au 1^{er} juillet 2016 et un budget de 92 milliards de yens la même année. Il regroupe de nombreux centres présents sur tout le territoire japonais et ses domaines de recherche incluent notamment l'énergie, l'environnement, les sciences de la vie, les biotechnologies, les technologies de l'information, l'électronique, la métrologie, la géologie, la chimie et les matériaux. Il figurait en 2015 en 7^{ème} position du classement de Thomson-Reuters des instituts de recherche les plus innovants au monde⁸. Il est dirigé par le Docteur Ryoji CHUBACHI.

⁸ <http://www.reuters.com/article/us-innovation-rankings-idUSKCN0WA2A5>

Le département de chimie et matériaux, qui emploie 18% des chercheurs de l'AIST, est doté d'un budget de 10,1 milliards de yens et compte plusieurs centres de recherche consacrés aux matériaux :

- Le *Nanomaterials Research Institute* s'intéresse au développement et à la production économique de nanomatériaux de carbones (nanotubes et films), de nanoparticules et de nanofilms ;
- L'*Inorganic Functional Materials Research Institute* développe en étroite partenariat avec l'industrie de nouveaux matériaux inorganiques (céramiques et métaux) trouvant des applications dans les domaines de l'énergie, de l'environnement et de la santé ;
- Le *Structural Materials Research Institute* développe des matériaux de structure afin d'alléger les équipements de transports et de contrôler l'énergie thermique ;
- Le *Carbon Nano Tube (CNT) Application Research Center* effectue des recherches centrées sur les nanotubes de carbone, de leur développement à l'amélioration de leurs moyens de production à l'échelle industrielle, mais s'occupe également de mettre au point des normes les concernant et d'informer le public ;
- Le *Research Center for Computational Design of Advanced Functional Materials (CDF-Mat)* utilise des techniques informatiques afin de mettre au point une simulation de design de matériaux fonctionnels de l'échelle atomique à l'échelle macroscopique ;
- Le *Magnetic Powder Metallurgy Research Center* développe des procédés pour l'industrie des matériaux magnétiques et les technologies qui y sont associées.

En juin 2016, l'AIST a également créé en partenariat avec le le WPI *Advanced Institute for Materials Research (AIMR)* un *Open Innovation Laboratory (OIL)* appelé *AIST-TohokuU Mathematics for Advanced Materials*, dirigé par le Professeur Takeshi NAKANISHI (AIST). Ses activités concernent les thématiques de recherche de l'AIMR, c'est-à-dire les mathématiques au service des sciences des matériaux.

c- Rikagaku Kenkyusho (RIKEN)

Le *Rikagaku Kenkyusho* (lit. Institut de Recherche Scientifique), ou RIKEN, a été fondé en 1917 en tant qu'institut privé de recherche physique et chimique. Devenu un institut de recherche public en 1958, il bénéficie aujourd'hui du statut de NRDA spécial (cf partie I-2). Doté d'un effectif de plus de 3 000 personnes et d'un budget de 84 milliards de yens en 2013, il est aujourd'hui présidé par le Professeur Hiroshi MATSUMOTO.

Le RIKEN possède plusieurs centres de recherche stratégiques dans les domaines de la physique, de la chimie et des sciences médicales, au sein desquels les matériaux occupent une place importante. L'un d'entre eux y est plus particulièrement consacré, il s'agit du *RIKEN Center for Emergent Matter Science (CEMS)*, dirigé par le Docteur Yoshinori TOKURA. Les équipes de ce centre telles que *l'Emergent Bioengineering Materials Research Team* ou la *First-Principles Materials Science Research Team* utilisent les sciences des matériaux, la chimie, la physique et l'électronique afin de mettre au point des technologies propres pour la production d'énergie et la réduction de la consommation au Japon. A cela s'ajoutent de nombreuses équipes de recherche et laboratoires de taille plus réduite, parmi lesquels on peut citer :

- Le *Materials Dynamics Laboratory* qui étudie la dynamique des matériaux à l'échelle atomique à l'aide de diffusion des rayons X ;
- Le *Condensed Molecular Materials Laboratory*, dont les activités concernent la synthèse, la caractérisation et le design de matériaux moléculaires, notamment les métaux supraconducteurs ;
- Le *Materials Fabrication Laboratory* développe des technologies nano-précises de fabrication de matériaux telles que le concassage, le rodage, le polissage, la découpe et le façonnage, notamment.

Le RIKEN accorde également une place importante au développement de bioprocédés innovants pour la découverte de nouveaux matériaux issus de la biomasse.

3- Agences de financement gouvernementales japonaises

a- Actions de la Japan Science and Technology Agency (JST)

La Japan Science and Technology Agency est l'agence de financement dépendante du Ministère japonais de l'Éducation, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie (MEXT). Bénéficiant du statut de NRDA (cf partie I-2), elle finance généralement les projets de recherche fondamentale ou appliquée des laboratoires et instituts indépendants ou académiques.

Elle a dans un rapport sur la recherche et le développement dans le domaine des matériaux et des nanotechnologies publié en 2015⁹ fait l'état des défis à relever par la recherche japonaise sur les matériaux pour l'environnement, l'énergie et les infrastructures sociales ; la santé et la médecine ; l'information, la communication et l'électronique ; et la fabrication des matériaux employés dans ces domaines.

Le programme *Impulsing Paradigm Change through Disruptive Technologies* (IMPACT) est une campagne de financement par la JST de plusieurs projets de recherche et développement ayant un fort impact sur les grandes questions mobilisant la recherche au Japon (capacités de production, conservation de l'énergie et respect de l'environnement, société connectée, santé et vieillissement de la population ainsi que résilience face aux désastres). A l'heure actuelle, deux d'entre eux mettent l'accent sur les sciences des matériaux :

- Le projet intitulé *Realizing Ultra-thin and Flexible Tough Polymers*, mené en collaboration avec l'Université de Tokyo et dirigé par le Docteur Kohzo ITO avec un budget de 3,5 milliards de yens sur 5 ans (2014-2018), vise à développer de nouveaux polymères performants, à la fois fins et résistants, pour des applications notamment dans l'ingénierie et l'équipement des transports ayant un impact sur la sécurité et la sûreté tout en étant respectueux de l'environnement ;

⁹ Le rapport est disponible en anglais ici : <https://www.jst.go.jp/crds/pdf/en/CRDS-FY2015-XR-07.pdf>

- Le projet intitulé *Super High-Function Structural Proteins to Transform the Basic Materials Industry*, dirigé par le Docteur Takane SUZUKI avec un budget de 3 milliards de yens sur 5 ans (2014-2018), a pour objectif d'apprendre de la nature afin de créer des matériaux innovants et d'affranchir le Japon de sa dépendance aux ressources telles que le pétrole et les métaux.

La JST dispose également d'un programme nommé *Precursory Research for Embryonic Science and Technology* (PRESTO) visant à promouvoir la recherche fondamentale dans les domaines stratégiques. Plusieurs projets impliquent les matériaux, parmi lesquels *New Materials Science and Element Strategy*, *Photoenergy conversion systems and materials for the next generation solar cells* ou encore *Innovative Use of Light and Materials/Life*.

b- Actions de la New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)

La *New Energy and Industrial Technology Development Organization* (NEDO) est l'agence de financement dépendante du Ministère japonais de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie (METI). Bénéficiant elle aussi du statut de NRDA (cf partie I-2), elle coordonne et intègre les capacités technologiques des entreprises privées et les capacités de recherche des universités, et organise des activités de développement technologique à l'échelle nationale. Cela permet aux entreprises privées de développer des technologies fondamentales qu'il serait risqué de développer au vu de l'incertitude des applications pratiques. Sur 120,8 milliards de yens consacrés à ces projets lors de l'année fiscale japonaise 2016, 13,5 milliards de yens sont consacrés aux projets mettant l'accent sur les matériaux et les nanotechnologies. Cependant, les matériaux étant utilisés dans tous les domaines scientifiques, une partie des fonds alloués aux autres projets impacte également la recherche sur les matériaux.

La NEDO a lancé en juin 2016 un projet visant à réduire le nombre de prototypes et le temps de développement pour les nouveaux matériaux de 95% grâce à l'utilisation de simulations informatiques. L'objectif de ce projet est de développer une méthode de prédiction des propriétés des matériaux (principalement des matériaux fonctionnels organiques) en fonction de leur composition pour 2018, puis d'utiliser l'intelligence artificielle pour mettre au point de nouveaux matériaux d'ici 2021.

C'est également dans le cadre d'un projet NEDO¹⁰ que l'Université d'Osaka et DENSO Corporation ont découvert un matériau de liaison auto réparant à haute température ayant des applications pour les semi-conducteurs en carbure de silicium (SiC), notamment dans le secteur automobile.

¹⁰ http://www.nedo.go.jp/english/news/AA5en_100059.html

II- Panorama de la recherche au Japon

Cette partie vise à dresser pour chacune des classes de matériaux citées en introduction une liste non exhaustive des organismes japonais leaders en matière de volume de publications, et des chercheurs les plus actifs au sein de ces organismes ainsi que les thématiques sur lesquelles travaillent ces chercheurs. Les tableaux suivants présentent donc pour chacune de ces trois classes les cinq ou six organismes leaders au Japon classés par nombre de publications entre 2011 et 2016. Pour chaque organisme sont indiqués quelques-uns des auteurs ayant le plus publié ainsi que les mots-clés les plus fréquemment employés et/ou dont l'utilisation est en augmentation dans leurs publications.

Les données présentées dans cette partie ont été rassemblées à l'aide de l'outil analytique Scival Trends¹¹.

¹¹ Scival Trends est édité par Elsevier et utilise les bases de données ScienceDirect et Scopus.

1- Métaux et alliages

| Principaux organismes de recherche classés par nombre de publications concernant les métaux et alliages | Chercheurs de l'organisme ayant le plus publié sur les métaux et alliages entre 2011 et 2016 | Principaux mots-clés utilisés dans les titres et abstracts des publications |
|---|--|---|
| Université du Tohoku (1308 publications) | Akihisa INOUE | Metallic glass Zirconium Forming Amorphous alloys |
| | Tadashi FURUHARA | Austenite Martensite Ferrite Bainite Carbides |
| | Ryosuke KAINUMA | Martensitic transformations Manganese Shape memory effect Phase equilibria |
| | Hiroyuki SHIBATA | Slags Molten materials Steel Inclusions |
| Université d'Osaka (1081 publications) | Manabu TANAKA | Electric arc welding Electric welding Inert gas welding Plasmas Shielding |
| | Masahito MOCHIZUKI | Welding Welds Residual stresses Distorsion (waves) |
| | Tomoyuki KAKESHITA | Martensitic transformations Alloys Shape memory effects Magnetic fields |
| | Toshihiro TANAKA | Molten materials Slags Liquids Solidification Thermal conductivity |
| Université de Tokyo (744 publications) | Fumitaka TSUKIHASHI, Hiroyuki MATSUURA | Steelmaking Slags Molten materials |
| | Kazuki MORITA | Molten materials Silicon Refining |

| | | |
|--|----------------------|--|
| | Jun YANAGIMOTO | Boron Forming Microstructure Rolling Deformation Steel |
| | Takeshi YOSHIKAWA | Molten materials Activity coefficients Thermodynamics |
| National Institute for Materials Science (712 publications) | Kaneaki TSUZAKI | Steel Manganese Deformation Twinning Austenite Plasticity |
| | Kazuhiro HONO | Coercive force Grain boundaries Magnets Neodymium alloys Permanent magnets |
| Université de Kyushu (696 publications) | Zenji HORITA | Torsional stress Pressure Plastic deformation Grain refinement |
| | Toshihiro TSUCHIYAMA | Steel Austenite Ferrite Martensite Carbon |
| | Motomichi KOYAMA | Manganese Plasticity Steel Twinning Austenitic steel |
| | Masakata SHIMIZU | Iron ores Blast furnaces Ore sintering Coke |

2- Polymères et plastiques

| Principaux organismes de recherche classés par nombre de publications sur les polymères et plastiques | Chercheurs de l'organisme ayant le plus publié sur les polymères et plastiques entre 2011 et 2016 | Principaux mots-clés utilisés dans les titres et abstracts des publications |
|---|---|---|
| Tokyo Institute of Technology (635 publications) | Tomoya HIGASHIHARA | Polycondensation Thiophene X ray scattering Conjugated polymers |
| | Mitsuru UEDA | Polycondensation Thiophene Polyimides Organic field effect transistors |
| | Takashi ISHIZONE | Anionic polymerization Living polymerization Polystyrenes Block copolymers |
| | Akira HIRAO | Anionic polymerization Block copolymers Living polymerization Stars |
| Université de Kyoto (595 publications) | Yoshiki CHUJO, Kazuo TANAKA | Conjugated polymers Optical properties Boron Chains |
| | Toshiji KANAYA | X ray scattering Melting point Neutron scattering Crystallization |
| | Mitsuo SAWAMOTO | Free radical polymerization Ruthenium Living polymerization Esters Atom transfer radical polymerization |
| | Hiroshi WATANABE | Polyisoprenes Relaxation time Dielectric relaxation Dielectric materials Rheology |
| Université de Tokyo (502 publications) | Akira ISOGAI, Tsuguyuki SAITO | Cellulose and cellulose films Oxidation Carboxylation Nanofibers |
| | Mitsuhiro SHIBAYAMA | Neutron scattering Gels Polyethylene glycols |

| | | |
|---|---------------------------------------|--|
| | Takamasa SAKAI | Dynamic light scattering Polyethylene glycols Gels Hydrogels Mechanical properties |
| | Masahisa WADA | Cellulose Chitin Synchrotrons Hydrates X ray diffraction |
| Université d'Osaka (430 publications) | Sadahito AOSHIMA, Shokyoku KANAOKA | Cationic polymerization Ethers Living polymerization Molecular weight distribution |
| | Mitsuru AKASHI | Copolymers Acids Esters Complexation |
| | Hiroshi UYAMA | Phase separation Monolithic integrated circuits Bearings (machine parts) Amino acids |
| | Takahiro SATO | X ray scattering Light scattering Solutions Copolymers Micelles |
| Kyushu University (367 publications) | Atsushi TAKAHARA | Brushes Surfaces Films Atom transfer radical polymerization |
| | Keiji TANAKA | Films Polystyrenes Interfaces Glass transition |
| Kyoto Institute of Technology (359 publications) | Hiroyuki HAMADA | Mechanical properties Polypropylenes Jute fibers Injection molding |
| | Kazushi YAMADA | Polyethylene terephthalates Mechanical properties Degradation Elastomers |

3- Céramiques et composites

| Principaux organismes de recherche classés par nombre de publications sur les céramiques ou composites | Chercheurs de l'organisme ayant le plus publié sur les céramiques ou composites entre 2011 et 2016 | Principaux mots-clés utilisés dans les titres et abstracts des publications |
|--|--|---|
| Université du Tohoku (766 publications) | Takahashi GOTO | Spark plasma sintering Chemical vapor deposition Deposition rates |
| | Tomonoga OKABE | Composite materials Fibers Laminates Carbon fiber reinforced plastics Continuum damage mechanics |
| | Satoshi AWAJI | Critical currents Superconducting wire Flux pinning Current density |
| | Akihito ITO | Spark plasma sintering Chemical vapor deposition Lasers Deposition rates |
| National Institute for Materials Science (679 publications) | Yoshio SAKKA | Spark plasma sintering Powders Magnetic fields Fracture toughness |
| | Byungnam KIM | Spark plasma sintering Heating rate Densification Microstructure |
| | Tetsuo UCHIKOSHI | Magnetic fields Sintering Casting Electrophoresis |
| Université de Tokyo (653 publications) | Nobuo TAKEDA | Strain Composite materials Fiber Bragg gratings Carbon fibers reinforced plastics Sandwich structures |
| | Jun TAKAHASHI | Thermoplastics Carbon fibers Reinforced plastics Polypropylenes |
| | Yuichi IKUHARA | Grain boundaries Scanning Alumina High resolution transmission electron microscopy |

| | | |
|---|-------------------|--|
| | Yutaka KAGAWA | Carbon fibers Silicon carbides Matrix algebra |
| Université d'Osaka (570 publications) | Shunichi FUKUZUMI | Electrons Porphyrins Fullerenes Photoexcitation Excited states |
| | Koichi NIIHARA | Sintering Densification Composite and nanocomposite films Molds |
| | Kei OHKUBO | Electrons Fullerenes Porphyrins Photoexcitation |
| | Soshu KIRIHARA | Stereolithography Resins Acrylics Terahertz waves Sintering |
| Université de Kyoto (525 publications) | Susuma KITAGAWA | Polymer Sorption Benzen Proton conductivity Crystals |
| | Yasuhiko TABATA | Gelatin Hydrogels Bone morphogenetic protein 2 Bone regeneration |
| | Hirokazu MASAI | Glass Tin Zinc oxide Phosphors Glass ceramics Photoluminescence |

III- Autres acteurs japonais de la recherche sur les matériaux

1- World Premier International Research Center Initiative (WPI)

La *World Premier International Research Center Initiative* (WPI) a été lancée en 2007 par le Ministère japonais de l'Éducation, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie (MEXT), dans une volonté d'offrir plus de visibilité mondiale à des instituts japonais ayant une dynamique et un environnement de recherche particulièrement compétitifs, sur une durée de 10 ans. Désignés par la *Japan Society for the Promotion of Science* (JSPS), les instituts se voient alors confier une plus grande autonomie dans le but de leur permettre de révolutionner la recherche dans leurs domaines respectifs. Parmi les neuf instituts sélectionnés dans le cadre de l'initiative, quatre accordent à la recherche sur les matériaux une place primordiale au sein de leur stratégie.

a- **Tohoku University Advanced Institute for Materials Research (AIMR)**

L'*Advanced Institute for Materials Research* (AIMR) est un institut dépendant de l'Université du Tohoku dirigé par le Professeur Motoko KOTANI. Etabli en tant que WPI en 2007 jusqu'en mars 2017, il a pour objectif de mettre en application des approches révolutionnaires de la recherche sur les matériaux. Cette volonté l'a conduit à décider en 2012 de lier étroitement les mathématiques aux sciences des matériaux dans sa stratégie de recherche, espérant ainsi formuler de nouveaux principes scientifiques pour le développement de matériaux innovants. Cette stratégie est portée par trois types d'équipes de recherche : certaines spécialisées en science des matériaux, d'autres constituées de mathématiciens, et d'autres servant d'interface aux deux disciplines. Les domaines de recherche couverts sont la physique des matériaux, les mathématiques, les matériaux hors de l'état d'équilibre, les matériaux mous et les systèmes électroniques, microscopiques et mécaniques.

Les trois projets phare de l'AIMR sont :

- l'étude de la formation et des propriétés structurales et physiques des matériaux hors de l'état d'équilibre tels que les polymères et le verre métallique à l'aide de systèmes mathématiques dynamiques,
- la création de matériaux fonctionnels topologiques robustes,
- l'utilisation d'analyse géométrique discrète à l'échelle atomique pour prédire les propriétés fonctionnelles des matériaux.

En juin 2016, l'AIMR a également créé en partenariat avec le *National Institute for Advanced Industrial Science and Technology* (AIST) un *Open Innovation Laboratory* (OIL) appelé *AIST-TohokuU Mathematics for Advanced Materials*, dirigé par le Professeur Takeshi NAKANISHI (AIST). Ses thématiques de recherches s'appuient également sur les mathématiques au service des sciences des matériaux (cf partie I-2b).

Le financement externe de l'AIMR s'élevait durant l'année fiscale 2015 à 3,5 milliards de yens, dont 1,3 milliard de yens accordés dans le cadre de la WPI. L'institut employait alors plus de 150 chercheurs dont la moitié était étrangers.

b- International Center for Materials Nanoarchitectonics (MANA)

L'*International Center for Materials Nanoarchitectonics* (MANA) est un institut dépendant du *National Institute for Material Science* (NIMS), situé à Tsukuba et dirigé par le Professeur Masakazu AONO. Etabli en tant que WPI en 2007 jusqu'en mars 2017, il a pour objectif de créer de nouveaux matériaux servant à supporter l'innovation technologique dans les domaines stratégiques à l'humanité, de la médecine à l'information et aux communications en passant par l'environnement, l'énergie et l'ingénierie. Pour cela, l'institut a créé le terme « *nanoarchitectonics* », qui désigne la création ou le réarrangement d'un matériau à l'échelle de l'atome.

La recherche en nanotechnologie au MANA se divise en cinq axes :

- « *Nano-Materials* », ou la création de matériaux nano-poreux, de matériaux bi-dimensionnels, de supermolécules capables de détecter des substances données, ou encore l'utilisation de microscope électronique à transmission pour déterminer les propriétés d'un matériau à l'échelle nanoscopique ;
- « *Nano-System* », ou la recherche sur l'intelligence artificielle, la superconductivité et autres propriétés des nano-systèmes ;
- « *Nano-Power* », ou l'amélioration de l'efficacité de la conversion énergétique par le biais de nouveaux matériaux nano-photocatalytiques, de nanomatériaux pour la transduction de l'énergie entre la lumière et la chaleur, de matériaux thermoélectriques et de technologie de gestion thermique par des nanostructures, et de la création de matériaux et systèmes utilisant des nanostructures semiconductrices ;
- « *Nano-Life* », ou le développement de matériaux pour la régénération des tissus, de systèmes de traitement impliquant l'utilisation de matériaux mous, de senseurs olfactifs ou de nouveaux matériaux pour le contrôle du *mechanosensing* au sein des cellules ;
- « *Nano-Theory* », ou le développement de méthodes pour contrôler les états microscopique et macroscopique en modélisant les interactions, l'étude de l'état électronique autour de la transition de Mott ou l'application à grande échelle de calculs élémentaires pour développer des matériaux haute performance.

Le financement externe du MANA s'élevait durant l'année fiscale 2015 à 4,2 milliards de yens, dont 1,3 milliard de yens accordés dans le cadre de la WPI.

c- International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (I²CNER)

L'*International Institute for Carbon-Neutral Energy Research* (I²CNER) est un institut dépendant de l'Université de Kyushu et dirigé par le Professeur Petros SOFRONIS. Etabli en tant que WPI en 2010 et jusqu'en 2020, il a pour objectif de rendre la société plus respectueuse de l'environnement, notamment par la réduction des émissions de carbone, la capture de celui-ci ou l'amélioration de l'efficacité énergétique.

L'I²CNER compte neuf divisions de recherche :

- « *Molecular photoconversion devices* », qui travaille sur de nouveaux matériaux et systèmes pour augmenter l'efficacité de la conversion entre énergie solaire et électricité ou hydrogène ;
- « *Hydrogen materials compatibility* », dont l'objectif est d'améliorer le coût, les performances et la sûreté des systèmes contenant de l'hydrogène pressurisé ;
- « *Electrochemical energy conversion* », qui vise à mener une recherche scientifique et un développement technologique pour une conversion efficace, bon marché et robuste notamment dans les piles à combustible à électrolyte polymère et à oxyde solide et dans les cellules d'électrolyse à oxyde solide ;
- « *Thermal science and engineering* », qui étudie les propriétés thermiques des matériaux afin d'améliorer l'efficacité énergétique des procédés thermiques ;
- « *Hydrogen storage* », qui travaille sur de nouveaux matériaux pour le stockage mobile et stationnaire de l'hydrogène ;
- « *Catalytic materials transformations* », qui a pour but de mettre au point de nouveaux catalyseurs au service des technologies à empreinte carbone réduite ;
- « *CO₂ capture and utilization (CCU)* », qui travaille au développement de matériaux hautement efficaces pour la séparation du CO₂ dans les procédés industriels et de production d'énergie, et à la mise au point de procédés pour sa conversion en produits chimiques (carburants ou intermédiaires) ;
- « *CO₂ storage (CS)* », qui développe des méthodes de caractérisation et de sélection de réservoirs, de prédiction du devenir du CO₂ avant l'injection et de suivi de la séquestration ;
- « *Energy analysis* », dont le rôle est de contrôler l'efficacité énergétique et les émissions de CO₂ des technologies actuelles et futures – y compris celles développées à l'I²CNER – afin de générer des scénarii et des feuilles de route pour les années à venir.

Le financement externe de l'I²CNER s'élevait durant l'année fiscale 2015 à 4,1 milliards de yens, dont 1,3 milliard de yens accordés dans le cadre de la WPI.

d- Institute for Integrated Cell-Material Sciences (iCeMS)

L'*Institute for Integrated Cell-Material Sciences* (iCeMS) est un institut dépendant de l'Université de Kyoto et dirigé par le Professeur Susumu KITAGAWA. Etabli en tant que WPI en 2007 jusqu'en mars 2017, il a pour objectif d'étudier le fonctionnement de la vie et de s'en inspirer pour créer de nouveaux matériaux destinés à résoudre les grandes questions environnementales (réchauffement climatique, pollution) et médicales (vieillesse de la population, maladies) auxquelles l'homme est confronté.

Le principal axe de recherche de l'iCeMS en science des matériaux est la création de matériaux poreux pour diverses applications telles que le piégeage et la conversion du CO₂, la purification de l'eau, la capture du méthane ou encore la libération contrôlée de principes actifs dans l'organisme. Le génie tissulaire est également un pan important de la recherche à l'iCeMS, qui travaille sur des matériaux inspirés des cellules et des nano-machines destinés à créer un environnement favorable à la régénération tissulaire.

Le financement externe de l'iCeMS s'élevait durant l'année fiscale 2015 à 3,3 milliards de yens, dont 1,3 milliard de yens accordés par la WPI. Il employait alors près de 300 personnes, dont une cinquantaine de chercheurs étrangers.

2- Instituts de recherche universitaires notables

a- Université du Tohoku

Située à Sendai, l'Université du Tohoku est l'une des plus anciennes et des plus prestigieuses universités japonaises. Fondée en 1907, elle compte en 2016 près de 20 000 étudiants et plus de 2 700 enseignants dans tous les domaines académiques. Elle figure en 2016 à la 75^{ème} place du classement QS des universités dans le monde¹². Elle est aujourd'hui dirigée par le Professeur Susumu SATOMI. L'Université du Tohoku est très active en ce qui concerne la recherche sur les matériaux. En plus du WPI *Advanced Institute for Materials Research* (AIMR) évoqué précédemment, elle dispose de deux instituts majeurs consacrés à la recherche sur les matériaux.

L'*Institute for Materials Research* (IMR), dirigé par le Professeur Koki TAKANASHI, a longtemps été consacré à l'acier, mais travaille aujourd'hui sur les applications et le développement de métaux, semi-conducteurs, céramiques, et matériaux organiques et composites. Il comporte donc de nombreuses divisions de recherche, et possède deux centres de recherche :

- Le *Center of Neutron Science for Advanced Materials* procure une plateforme pour la diffusion des neutrons pour des applications dans les matériaux de stockage de l'hydrogène ou encore les aimants ;
- Le *Research and Development Center for Ultra High Efficiency Nano-crystalline Soft Magnetic Material* développe des alliages magnétiques nanocristallins dotés d'une nano-hétérostructure incluant une phase amorphe.

Doté d'un budget de 6,1 milliards de yens en 2015, il comptait 340 employés et 40 chercheurs invités au début de l'année 2016.

L'*Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials* (IMRAM), dirigé par le Professeur Atsushi MURAMATSU, mêle différents domaines scientifiques tels que la chimie, la physique, la biologie, le génie des procédés et les sciences environnementales dans sa recherche sur les matériaux organiques, inorganiques, biologiques, ainsi que leurs hybrides. L'IMRAM comporte quatre divisions de recherche :

- *Organic and bio-materials*, qui travaille sur la synthèse de molécules organiques et bio-inspirées ainsi que sur les matériaux mous ;
- *Inorganic materials*, qui travaille sur la thermodynamique et les propriétés des matériaux à haute température ainsi que sur les microstructures et la physique quantique ;
- *Process and system engineering* qui traite notamment du traitement des poudres, des nanoparticules et des applications laser ;

¹² <http://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2016>

- *Measurements*, qui travaille sur des mesures à toutes les échelles (quantique, nano et micro mesures en chimie) ainsi que sur la cristallographie et les polymères.

Il compte quatre centres de recherche :

- *Research Center for Sustainable Science & Engineering*, qui s'intéresse à la physique et aux systèmes d'ions à l'état solide, à la métallurgie et au recyclage des métaux, à la fabrication et séparation vertes de matériaux et à la conversion d'énergie ;
- *Center for Advanced Microscopy and Spectroscopy*, qui travaille sur la microscopie à rayons X mous, l'interférence électronique et la cristallographie et spectroscopie électroniques ;
- *Polymer and Hybrid Materials Research Center*, qui travaille sur les polymères hybrides, les nanomatériaux carboniques hybrides, les nanomatériaux organiques et bio-inspirés et la chimie des matériaux photofonctionnels ;
- *Center for Exploration of New Inorganic Materials* dont les recherches portent sur les cristaux inorganiques, le design métallurgique, les matériaux inorganiques pour l'environnement et le design de matériaux inorganiques avancés.

L'institut participe notamment à un projet d'envergure à l'échelle nationale, la *Nano-Macro Materials, Devices and System Research Alliance*, qui implique depuis 2010 et pour 6 ans quatre autres instituts d'universités leaders au Japon (le *Research Institute of Electronic Science* de l'Université d'Hokkaido, le *Chemical Resources Laboratory* du Tokyo Institute of Technology, l'*Institute of Science and Industrial Research* de l'Université d'Osaka et l'*Institute for Materials Chemistry and Engineering* de l'Université de Kyushu), pour le développement de nouveaux matériaux, systèmes et appareils basés sur le concept de "fusion de l'échelle nanoscopique à l'échelle macroscopique". Il appartient également au *Network Joint Research Center for Materials and Devices in Japan*, et est très impliqué dans la reconstruction du Tohoku après le désastre de 2011. L'Université du Tohoku est en effet le principal acteur d'un projet lancé et soutenu par le MEXT et l'Agence de Reconstruction intitulé *Tohoku Innovative Materials Technology Initiatives for Reconstruction* doté d'un budget de 800 millions de yens par an et visant à mettre les compétences de l'Université en matière de recherche sur les matériaux au service de la reconstruction de la région.

L'Université du Tohoku comporte également un centre appelé *Tohoku University Material Solutions Center* dont la construction a été financée principalement par le METI dans le cadre de subventions accordées à la création d'infrastructures pour le développement de technologies industrielles, ainsi que par plusieurs instituts de l'Université incluant l'IMRAM et l'IMR. Ses thématiques de recherche sont l'énergie, l'électronique et l'infrastructure sociale. L'institut mène plus de quinze projets, notamment sur les nanomatériaux supercritiques, des méthodes de synthèse de nouveaux phosphores pour les diodes blanches, des tôles d'acier innovantes, ou encore des matériaux et technologies pour les batteries et les piles à combustible.

L'Université du Tohoku est également très active sur la scène internationale, et entretient notamment depuis plus de 25 ans des relations avec l'INSA Lyon et l'Ecole Centrale de Lyon, qui se sont concrétisées en 2004 avec la double création d'un bureau de liaison de l'Université du Tohoku à l'INSA Lyon – élargi en 2015 à l'Université de Lyon – et d'un bureau de liaison de l'Université de Lyon à l'Université du Tohoku. Ces relations ont mené à la création d'un Laboratoire International Associé et d'une Unité Mixte Internationale, qui seront détaillés en quatrième partie de ce rapport. Par

ailleurs, les villes de Sendai et Rennes étant jumelées, il existe des échanges scientifiques entre l'Université du Tohoku et l'Université de Rennes.

b- Université de Tokyo

L'université de Tokyo est considérée comme la meilleure université du Japon tous critères confondus, que ce soit par le niveau de ses élèves, la performance de sa recherche ou sa capacité à mobiliser des financements publics ou privés. Elle se place au 20^{ème} rang du classement du *Shanghai Academic Ranking of World Universities* de 2016¹³, en tête des universités asiatiques. Elle est présidée par le Professeur Makoto Gonokami.

L'Université de Tokyo compte deux départements centrés sur les sciences des matériaux :

- Le *Department of Materials Engineering* revendique trois axes de recherches que sont le design de matériaux (conception et caractérisation de matériaux), le design pour les matériaux (utilisation des matériaux respectueuse de l'environnement) et le design avec des matériaux (sélection de matériaux pour le recyclage, la gestion des déchets et autres questions environnementales) ;
- Le *Department of Advanced Material Sciences* explore les degrés de liberté des sciences des matériaux au travers d'approches microscopiques et macroscopiques à l'aide de six laboratoires (physique appliquée, nouveaux matériaux et interfaces, design et traitement de matériaux, science des matériaux fonctionnels en collaboration avec le RIKEN et physique de l'état solide en collaboration avec l'*Institute for Solid State Physics* de l'Université de Tokyo).

c- Tokyo Institute of Technology (TITech)

Le Tokyo Institute of Technology est très actif dans le domaine des matériaux, et certaines de ses équipes de recherche sont à l'origine de découvertes révolutionnaires. On peut notamment citer le Professeur Hideo HOSONO, lauréat du *Japan Prize* en 2016, qui a découvert des supra-conducteurs à base de fer¹⁴ et est à la pointe de la recherche sur les oxydes semi-conducteurs transparents¹⁵. Le Professeur HOSONO est à la tête d'un projet financé par la JST sur 10 ans (2012-2021) et visant à établir des méthodes de design de matériaux électroniques innovants utilisant des métaux usuels tels que l'aluminium, le silicium, le fer, le calcium, le sodium, le potassium, le magnésium ou encore le titane. Des équipes du TITech mènent également des recherches sur des matériaux utilisant des hydrides et des anions métalliques ou encore un électrolyte inorganique dopé au rutile comme catalyseur pour la synthèse de l'ammoniac.

Le TITech comporte plusieurs départements consacrés à la recherche sur les matériaux, les plus notables étant :

¹³ <http://www.shanghairanking.com/ARWU2016.html>

¹⁴ *Iron-Based Layered Superconductor La[O_{1-x}F_x]FeAs (x = 0.05–0.12) with T_c = 26 K*, Kamihara, Y.; Watanabe, T.; Hirano, M.; Hosono, H. (2008), *Journal of the American Chemical Society*. **130** (11): 3296–7

¹⁵ *Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors*, Nomura, K.; Ohta, H.; Takagi, A.; Kamiya, T.; Hirano, M.; Hosono, H. (2004), *Nature*. **432** (7016): 488

- Le *Department of Chemistry and Materials Science* cherche à clarifier la structure, les fonctions et les caractéristiques des matériaux en remontant au processus de leur formation ;
- Le *Department of Materials Science and Engineering* développe et analyse de nouveaux matériaux pour des applications technologiques diverses ;
- Le *Department of Innovative and Engineered Materials* regroupe des spécialistes des sciences de matériaux inorganiques, de la métallurgie et de la chimie appliquée.

d- Université de Kyoto

L'Université de Kyoto, présidée par le Professeur Juichi YAMAGIWA, est elle aussi une université d'excellence au Japon. Comme pour l'Université de Tokyo, deux départements y sont consacrés à l'étude des matériaux :

- Le *Department of Materials Science and Engineering* travaille à transformer les éléments en abondance sur Terre en des matériaux innovants, mais aussi à développer de nouveaux matériaux dès l'échelle atomique, et a été désigné par la JSPS comme un Centre d'Excellence du 21^{ème} Siècle (COE)¹⁶ ;
- Le *Department of Materials Chemistry* travaille à découvrir les propriétés des molécules qui composent les substances, ainsi que de nouvelles propriétés et structures pour tous types de matériaux (organiques, inorganiques, polymères, nanomatériaux).

e- Université d'Osaka

L'Université d'Osaka, présidée par le Professeur Shojiro NISHIO, comporte deux divisions étroitement liées aux sciences des matériaux :

- La *Division of Materials and Manufacturing Science*, qui développe des matériaux avancés destinés à l'industrie des transports, de l'électronique et de la construction ainsi que leurs procédés de fabrication.
- La *Division of Mechanical, Materials and Manufacturing Science*.

De plus, un des instituts de l'Université, l'*Institute of Scientific and Industrial Research*, comporte une division *Advanced Materials and Beam Science* dont les activités concernent des domaines tels que les matériaux fonctionnels quantiques, les matériaux et procédés semi-conducteurs, les matériaux durs avancés, les matériaux d'interconnexion avancés ou encore la dynamique des états solides excités. Il appartient également au *Network Joint Research Center for Materials and Devices in Japan*.

¹⁶ Ce programme, administré par le Docteur Leo ESAKI, lauréat du Prix Nobel de physique en 1973, distingue les universités où la recherche et l'enseignement sont de haute qualité.

f- Université de Kyushu

L'Université de Kyushu, présidée par le Professeur Chiharu KUBO, est l'une des universités les plus actives du Japon en termes de recherches sur les matériaux. En plus du WPI *International Institute for Carbon-Neutral Energy Research* (I²CNER) évoqué précédemment, elle abrite un institut de recherche consacré à l'étude et à la création de matériaux mous tels que les cristaux liquides ou les polymères, et à l'application de leurs propriétés à des matériaux présentant des fonctions électroniques et photoniques avancées, appelé *Institute for Materials chemistry and engineering*. Cet institut appartient également au *Network Joint Research Center for Materials and Devices in Japan*.

L'université compte également un département majeur, le *Department of Materials Science and Engineering*, consacré à la recherche sur les métaux structurels tels que l'acier, l'aluminium, le titane, les alliages de magnésium, et certains matériaux fonctionnels comme les céramiques et les semi-conducteurs.

Un chercheur de l'Université de Kyushu, le Professeur Chihaya ADACHI, a reçu le *Japan Research Front Award 2016* pour sa contribution à la recherche sur les propriétés des diodes électroluminescentes organiques fluorescentes et leurs applications¹⁷.

3- Entreprises japonaises

La plupart des grandes entreprises japonaises, que ce soit dans le domaine de l'électronique, de l'automobile ou encore de la production d'acier, ont besoin d'une recherche de pointe en science et technologies des matériaux afin de rester compétitives. Ce paragraphe propose une vue d'ensemble des thématiques traitées par les plus actives d'entre elles¹⁸.

Hitachi est l'entreprise qui publie le plus (462 articles) dans le domaine. Sa recherche sur les matériaux se divise en deux thématiques : les matériaux avancés et le stockage de l'énergie. La première couvre tout le spectre des classes de matériaux et comprend les matériaux organiques (agents de traitement de surface, matériaux isolants, etc.), les matériaux composites (films hautement thermoconducteurs, supraconducteurs à haute température, etc.), les métaux (poudres, alliages et métaux de structure, etc.) et les matériaux inorganiques (verre, matériaux fluorescents, catalyseurs, etc.). La seconde développe de nouveaux matériaux pour le stockage de l'énergie et améliore les dispositifs de stockage existants, tout particulièrement les batteries Li-ion pour des applications industrielles ou pour les véhicules hybrides. Hitachi est également très impliquée dans la stratégie des éléments puisqu'elle joue un rôle important dans le recyclage des aimants et matériaux contenant des terres rares.

Le constructeur automobile **Toyota** est lui aussi très actif (436 articles) puisqu'il travaille sur tous les matériaux entrant dans la fabrication de ses véhicules. Cela inclut les peintures et traitements de surface, notamment antirouille, les matériaux organiques (plastiques, polymères et caoutchoucs,

¹⁷ Selon Thomson-Reuters <http://thomsonreuters.com/en/press-releases/2016/july/japan-scientists-are-leading-global-research-in-eight-emerging-areas.html>

¹⁸ Données portant sur le nombre de publications, excluant les brevets, entre 2011 et 2016, rassemblées grâce à l'outil analytique Scival Trends.

tissus, adhésifs, isolants soniques, *etc.*), les métaux (fer et acier, alliages légers, frittage, *etc.*), les catalyseurs et adsorbants pour pots d'échappement, les matériaux tribologiques (matériaux glissants, matériaux de friction et huiles, *etc.*), les matériaux fonctionnels (verres et céramiques, matériaux électroniques pour les capteurs et systèmes embarqués, *etc.*), ou encore les matériaux pour les batteries, particulièrement les alliages de lithium. Le site internet du constructeur recense les innovations majeures sur ces matériaux depuis les années 1950.

Toshiba est également un acteur industriel important dans le domaine des matériaux (294 articles). Sa filiale **Toshiba Materials Co., Ltd.**, forte d'un capital de 480 millions de yens et de 405 employés en avril 2013, a été créée en 2003 afin de rassembler toutes les activités du groupe sur les matériaux. Elle développe et fabrique des matériaux pour l'environnement, les sciences médicales et l'information et la technologie. Cela inclut notamment des céramiques fines, des produits du phosphore et des métaux à haute pureté (matériaux magnétiques, tungstène et molybdène, alliages, *etc.*)

Le groupe **Mitsubishi** est lui aussi très présent. Sa filiale **Mitsubishi Heavy Industries** (136 articles), qui fabrique de nombreux matériaux, pièces et systèmes pour l'industrie aéronautique et spatiale, les transports terrestres et maritimes, les énergies renouvelables, les batteries, *etc.*, a ouvert en 2015 un nouveau centre de recherche comportant un département consacré à la recherche sur les matériaux. Il possède également une filiale nommée **Mitsubishi Materials** qui s'intéresse principalement aux matériaux à couche mince, aux matériaux pour l'électronique et l'électronique de puissance et aux métaux, mais également au recyclage des mines urbaines.

Parmi les autres entreprises japonaises majeures, on peut citer les producteurs de matériel tubulaire pétrolier et de pièces en acier pour la construction et les transports **Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation** (283 articles) et **JFE Steel Corporation** (198 articles). On trouve également le leader du marché japonais des télécommunications **Nippon Telegraph & Telephone** (NTT) (217 articles) qui travaille principalement sur les matériaux en couche mince (semi-conducteurs à large écart énergétique et à base d'oxydes), les nanomatériaux de faible dimension pour l'électronique (nanotubes de carbone, graphène, *etc.*), et les matériaux pour les bio nanotechnologies.

IV- Acteurs et projets de la collaboration franco-japonaise

1- Unités Mixtes Internationales (UMI)

a- Une UMI spécialisée dans les matériaux de structure : ELYTMAX

Les liens entre Université de Lyon, l'Université du Tohoku et le CNRS se sont renforcés en 2016 avec l'inauguration le 4 octobre d'une UMI appelée *Engineering Science Lyon – Tohoku for Materials and Systems under Extreme Conditions* (ELYTMAX). Dirigée par le Professeur Kazuhiro OGAWA (Université du Tohoku) et le Professeur Jean-Yves CAVAILLÉ (INSA Lyon), et s'appuyant sur la densité et la qualité des échanges entre ces établissements, elle est la première unité mixte internationale au monde à

avoir comme partenaire une COMUE (Communauté d'Universités et Etablissements), et la première également ayant pour thématique les matériaux de structure.

Les recherches qui y sont menées sur le comportement des matériaux sous des conditions complexes et/ou extrêmes (pression, température, irradiation, corrosion, etc.) trouvent des applications aussi bien en ingénierie qu'en biomédecine. En vue de la création de cette UMI, trois enseignants-chercheurs de l'INSA Lyon se sont installés à Sendai en 2016. La création de ce laboratoire devrait mener à la création d'un second laboratoire en France qui constituerait l'unité miroir d'ELYTMax. Située à Sendai, ELYTMax est ainsi la première UMI au Japon localisée hors du Kanto (la région de Tokyo) et la principale structure de coopération internationale de l'Université du Tohoku.

b- Laboratory for Innovative Key Materials and Structures (LINK)

Le *Laboratory for Innovative Key Materials and Structures* (LINK) est une Unité Mixte Internationale (UMI 3629) ayant pour partenaires le CNRS, Saint-Gobain, l'Université de Rennes 1 et le *National Institute for Materials Science* (NIMS). L'UMI LINK est dirigée par le Docteur Fabien GRASSET (CNRS), par David LECHEVALIER (Saint-Gobain) et par le Docteur Tetsuo UCHIKOSHI (NIMS).

L'UMI LINK est le fruit d'une longue collaboration entre Saint-Gobain et le NIMS d'un côté, et l'Institut des Sciences Chimiques de l'Université de Rennes 1 de l'autre (plus de 35 publications en commun depuis 2001). Concrétisation d'une lettre d'intention (LOI) entre le CNRS, Saint-Gobain et le NIMS signée le 07 juin 2013, elle a été créée le 1^{er} janvier 2014 et le laboratoire a été inauguré le 28 octobre de la même année pour une durée de contrat de 5 ans renouvelable (2014-2018). L'UMI LINK compte 2 membres permanents, 4 non-permanents, 2 doctorants et 1 chercheur post-doc contractuel.

L'UMI est hébergée dans les locaux du NIMS à Tsukuba, plus spécifiquement au sein du *NIMS-Saint-Gobain Center of Excellence for Advanced Materials*, collaboration mise en place entre le NIMS et Saint-Gobain depuis 2010. Il est prévu que l'Université de Rennes 1, partenaire privilégié de cette collaboration, soit labellisée « site miroir », c'est-à-dire une antenne de l'UMI située en France et favorisant l'accueil des chercheurs japonais. L'université de Rennes et le NIMS ont signé des accords de collaborations scientifiques (2010-2020) et d'échanges d'étudiant (2013-2018).

Les différents partenaires organisent tous les ans depuis 2011 un workshop commun avec une alternance de localisation (France/Japon) avec le soutien financier de la JSPS et du MAEDI.

L'objectif de l'UMI LINK est de créer et de synthétiser de nouveaux matériaux et de caractériser leurs propriétés chimiques et physiques en vue d'une utilisation ultérieure pour des applications industrielles dans des domaines d'intérêt pour Saint-Gobain notamment. Les axes de recherche définis par l'UMI pour y parvenir sont les suivants :

- les matériaux pour l'énergie et l'environnement,
- les matériaux pour l'habitat et la construction,
- les couches minces multifonctionnelles et leurs propriétés optiques,
- la catalyse et la modification de surface.

L'importante complémentarité des partenaires est particulièrement mise à profit dans les projets de recherche développés. Notamment, elle permet la création d'une synergie importante entre les compétences en chimie apportées par le CNRS et l'Université de Rennes 1, les techniques de caractérisation hors normes disponibles au NIMS et les applications industrielles dans les produits du groupe Saint-Gobain. Un des projets de recherche menés par L'UMI LINK concerne par exemple les voies de synthèse et techniques de caractérisation de nouveaux matériaux nanocomposites à base de clusters de métaux de transition et oxydes. A ce titre, la première cellule solaire hybride inorganique à base de clusters hexanucléaire de molybdène a été fabriquée en 2016¹⁹ et en parallèle le potentiel applicatif du procédé de dépôt par « *Electrophoretic Deposition* » de couches actives de clusters nanométriques a été démontré sur des substrats de verres conducteurs²⁰ (surface fonctionnalisée par de l'ITO). Par ailleurs, le rôle que pourraient jouer à long terme ces clusters pour le remplacement des luminophores rouges à base de terres rares a également été étudié²¹.

2- Laboratoires Internationaux Associés (LIA)

a- Engineering and Science Lyon-Tohoku Laboratory (ELyTLaB)

Par ailleurs, l'Université du Tohoku, l'INSA Lyon, l'Ecole Centrale de Lyon, l'Université Claude Bernard (Lyon 1), l'Ecole Nationale d'Ingénieurs Saint Etienne et le CNRS ont inauguré le 2 décembre 2008 le Laboratoire International Associé (LIA) *Engineering and Science Lyon-Tohoku Laboratory* (ELyTLaB), afin de dynamiser les échanges entre ces établissements dans cinq domaines : biosciences et ingénierie, fiabilité et durabilité dans les systèmes de transport d'énergie, mécanique des fluides et thermique, tribologie, nanomatériaux et nanosystèmes. Ce laboratoire permet de réaffirmer la collaboration académique entre ces établissements, mais aussi la coopération entre la région Rhône-Alpes, la Métropole de Lyon et la préfecture de Miyagi. Coordonné par le Professeur Jean-Yves CAVAILLE (INSA Lyon), le Docteur Philippe KAPSA (Ecole Centrale de Lyon) et le Professeur Tetsuo SHOJI (Université du Tohoku), le laboratoire a été renouvelé pour quatre ans en décembre 2012. Le LIA se réunit tous les ans autour de son workshop, organisé alternativement en France et au Japon, rassemblant une centaine de participants.

Une nouvelle structure nommée *ELyTGlobal* est actuellement en projet pour succéder au LIA ELyTLaB. Cette nouvelle structure, destinée à élargir le réseau de la collaboration potentiellement à des équipes européennes et asiatiques. Menée par une équipe renouvelée constituée de Tetsuya UCHIMOTO (Université du Tohoku), Julien FONTAINE (Ecole Centrale de Lyon) et Damien FABREGUE (INSA Lyon), elle aura pour partenaire privilégié l'UMI ELyTMax.

¹⁹ *Inorganic Molybdenum Clusters as light-harvester in all inorganic solar cells: a proof of concept*, A. Renaud et al., ChemistrySelect, 1, vol. 1-10, p. 2284-2289, 2016.

²⁰ *Fabrication of Transparent Thin Film of Octahedral Molybdenum Metal Clusters by Electrophoretic Deposition*, T.K.N Nguyen et al., ECS J. Solid State Sci. Technol., vol. 5-10, p. 178-186, 2016.

²¹ *Visible Tunable Lighting System Based on PVP Composites Embedding ZnO Nanocrystals and Metallic Clusters: from Colloids to Thin Films*, T.G. Truong et al., Sci. Technol. Adv. Mater., vol. 17-1, p. 443-453, 2016.

b- Néel Institute – NIMS for Nanoscience and Energy for the Future (3N-Lab)

Le laboratoire *Néel-NIMS for Nanosciences and Energy for the Future* (3N-Lab) est un Laboratoire International Associé entre l'Institut Néel²² à Grenoble et le *National Institute for Materials Science* (NIMS) à Tsukuba. Il est coordonné par le Docteur Etienne GHEERAERT (Institut Néel) et par le Docteur Satoshi KOIZUMI (NIMS).

La collaboration entre le NIMS et l'Institut Néel a débuté il y a plus de 20 ans par des séjours de longue durée de chercheurs permanents. Cette initiative a été suivie d'échanges d'étudiants entre les équipes de recherche à raison de 1 à 4 par an. Cette collaboration entre dans le cadre d'un accord entre le NIMS et le CNRS, qui s'est vu renforcé le 30 septembre 2014 par un accord entre le NIMS et le campus GIANT (*Grenoble Innovation for Advanced New Technologies*). Le LIA a été lancé le 1^{er} juin 2015 pour une durée de 4 ans. Il a été inauguré le 26 février 2016 à Tsukuba.

Le LIA 3N-Lab vise à renforcer et développer les collaborations entre les domaines scientifiques suivants :

- les matériaux supraconducteurs,
- les matériaux semi-conducteurs (notamment le diamant) pour des applications en électronique,
- les matériaux magnétiques (aimants permanents sans terres rares),
- les champs magnétiques intenses.

Le NIMS et l'Institut Néel sont fortement complémentaires dans tous ces domaines de recherche. C'est par exemple le cas du diamant en couche mince pour lequel le NIMS est leader mondial, tandis que l'Institut Néel est très performant dans les interfaces entre le diamant et les métaux et oxydes. Ces thématiques de collaboration ont déjà permis la publication de nombreux articles communs, notamment grâce au soutien de programmes franco-japonais tels que le Partenariat Hubert Curien (PHC) Sakura, ou le programme JSPS-CNRS. Le LIA 3N-Lab espère explorer de nouvelles pistes de collaboration dans le futur, notamment sur le photovoltaïque, les propriétés des matériaux sous haute pression et la magnétoscience.

c- NextPV

Le laboratoire NextPV, lancé en septembre 2012, est codirigé par le Professeur Yoshitaka OKADA (*Research Center for Advanced Science and Technology* (RCAST-UT) de l'Université de Tokyo) côté japonais et par le Docteur Jean-François GUILLEMOLES (Electricité de France et Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris-Chimie ParisTech) jusqu'en septembre 2016. Ses autres partenaires sont le CNRS, l'Ecole Polytechnique, l'Ecole Supérieure d'Electricité de Gif-sur-Yvette, l'Université de Bordeaux, l'Institut Polytechnique de Bordeaux, l'Université Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines, Université Paris Sud 11, l'Université Paul Sabatier et l'Institut National Polytechnique de Toulouse.

²² Laboratoire de recherche fondamentale en physique de la matière condensée conjoint entre le CNRS et l'Université de Grenoble-Alpes.

Les activités de recherche du laboratoire sont centrées sur les cellules organiques et hybrides basées sur des hétérostructures III-V, pour lesquelles le développement de nouveaux matériaux est essentiel au contournement des limites actuelles d'efficacité. Pour cela, NextPV utilise la modélisation de matériaux et de systèmes pour quantifier la stabilité des surfaces et interfaces, le transport de la chaleur ou encore l'interaction avec les photons. Le laboratoire emploie également des méthodes de caractérisation basées sur la photoluminescence, l'électroluminescence et le courant photoélectronique, ainsi que des méthodes optiques telles que l'ellipsométrie et la réflectance.

NextPV innove également au-delà de la structure des cellules ; il étudie en effet un projet de ballons solaires flottant au-dessus des nuages²³ afin de bénéficier d'un ensoleillement maximal et utilisant des piles à combustible pour produire de l'électricité de jour comme de nuit. Durant la journée, des cellules photovoltaïques issues de la recherche de NextPV produiraient de l'électricité dont une partie chargerait la pile à combustible, rejetant du dihydrogène à l'intérieur du ballon. La pile prendrait alors le relai la nuit, utilisant le dihydrogène contenu dans le ballon et le dioxygène de l'atmosphère pour produire de l'électricité.

d- Impacting materials with light and electric fields and watching real time dynamics (IM LED)

Le laboratoire *Impacting materials with light and electric fields and watching real time dynamics* (IM LED) sera lancé le 1er janvier 2017. Co-dirigé par le Professeur Eric COLLET (Université de Rennes 1) et le Professeur Shinichi OKOSHI (Université de Tokyo), il implique en outre le CNRS, l'Université de Nantes, l'Université du Maine et l'Université de Versailles - Saint-Quentin du côté français, et l'université de Kyoto, l'Université du Tohoku et le *Tokyo Institute of Technology* du côté japonais.

Les activités de recherche d'IM LED seront concentrées sur la commutation ultra-rapide de la fonctionnalité d'un matériau par un flash de lumière et/ou un champ électrique ultra-bref. Bien qu'elles soient menées très en amont, elles trouveront des applications industrielles dans le domaine des dispositifs ultra-rapides de commutation et de stockage d'information.

3- Autres groupements de recherche internationaux

a- GRDI Matter in extreme conditions: from material science to planetary physics

Le Groupement de Recherche International (GDRI) *Matter in extreme conditions: from material science to planetary physics*, créé en janvier 2014 pour 4 ans et coordonné par Michel KOENIG (Ecole Polytechnique), implique de nombreux autres partenaires français (CNRS, Observatoire de Paris, Université Paris Diderot, Université Pierre et Marie Curie, Institut de Recherche et Développement (IRD), Museum National d'Histoire Naturelle) et japonais (l'Université d'Osaka (*Graduate School of Engineering*), l'Université d'Ehime (*Geodynamic Research Center*), l'Université d'Hiroshima (*Graduate*

²³ Plus d'informations sur <https://lejournel.cnrs.fr/billets/et-si-faisait-planer-le-solaire>

School of Science), le RIKEN (*X-ray Free Electron Laser*)), mais aussi européens (Université d'Oxford au Royaume-Uni et Université de Rostock en Allemagne).

Ses recherches portent sur les propriétés des matériaux sous des conditions de pression et de température extrêmes, notamment par compression dynamique et chauffage isochore, et utilisent pour cela des lasers de puissance.

b- Nikon-Essilor International Joint Research Center (NEIJRC)

Nikon Corporation au Japon et Essilor International S.A. en France collaborent depuis plus de 15 ans sur les matériaux pour l'optique. Cette coopération s'est concrétisée en mars 2009 avec la création d'une *joint-venture* appelée *Nikon and Essilor International Joint Research Center Co. Ltd.* (NEIJRC) qui concentre ses recherches sur des technologies innovantes et de rupture issues des expertises respectives des deux sociétés : l'optique ophtalmique pour Essilor et les appareils photo pour Nikon. Forte d'un capital de 200 millions de yens, elle a aujourd'hui pour président le Docteur Katsuhiko MURAKAMI (Nikon) et pour vice-président Jean-Philippe LAUNAY (Essilor).

Un séminaire²⁴ a rassemblé en juin 2015 les partenaires du NEIJRC (le NIMS, le CNRS, l'UMI *Laboratory for Integrated Micro-Mechatronic Systems* (LIMMS) et l'*Institute of Industrial Science* de l'Université de Tokyo afin de présenter les innovations scientifiques et techniques dans le domaine de la recherche sur les matériaux pour l'optique. Des sujets tels que la nano-photonique (dont les boîtes quantiques, les méta-matériaux, etc.), les systèmes micro-électromécaniques (MEMS) optiques ou encore les matériaux intelligents et multifonctionnels ont été abordés.

4- Programmes et projets franco-japonais

a- Projets internationaux de collaboration scientifique (PICS)

Un Projet International de Collaboration Scientifique (PICS) est un projet scientifique établi conjointement par deux équipes de recherche, l'une au CNRS et l'autre à l'étranger, en l'occurrence au Japon. Destiné en priorité aux chercheurs de moins de 45 ans et d'une durée de trois ans, il vise à consolider et formaliser une coopération bilatérale ayant déjà donné lieu à des publications communes. Deux projets de ce type axés sur les sciences des matériaux sont en cours. Le premier, coordonné sur la période 2015-2017 par Emmanuel GUILMEAU (Laboratoire de cristallographie et sciences des matériaux de l'Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs de Caen) et Mitsuhiro OKADA (*Research Institute for Ubiquitous Energy Devices* de l'AIST), concerne les matériaux silicieux pour des applications thermoélectriques. Le second, coordonné sur la période 2016-2018 par le Docteur Jean-René DUCLERE (Laboratoire Science des Procédés Céramiques et de Traitements de Surface (SPCTS)) et le Professeur Tomokatsu HAYAKAWA (Nagoya Institute of Technology (NITECH)), se focalise principalement sur l'étude des matériaux conducteurs ioniques à structure apatitique, ainsi que des matériaux tellurites pour l'optique non linéaire.

²⁴ <http://www.ambafrance-jp.org/Seminaire-franco-japonais-Materiaux-pour-l-optique>

Deux autres PICS concernant les matériaux ont été menés entre 2013 et 2015. Le premier, coordonné par le Docteur Fabien GRASSET (Institut des sciences chimiques de Rennes) et le Docteur Naoki OHASHI (*Environment and Energy Materials Division* du NIMS), s'intéressait aux synthèses et caractérisations de nouveaux matériaux fonctionnels non-oxydes. Le second, coordonné par le Docteur François DEBRAY (Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses de Grenoble) et le Professeur Kazuo WATANABE (*High Field Laboratory for Superconduction Materials* de l'Université du Tohoku), concernait le développement des méthodes de production des champs magnétiques intenses et de la magnétoscience.

b- Projets de Recherche Conjointes (PRC)

Les Projets de Recherche Conjointes (PRC) sont financés dans le cadre d'accords entre le CNRS et une agence de financement ou de recherche étrangère, en l'occurrence la *Japan Society for the Promotion of Science* (JSPS), pour une durée de deux ans. Un projet de ce type est en cours (2015-2016) entre le Docteur Sylvie CASTAGNET de l'Institut P' : Recherche et Ingénierie en Matériaux, Mécanique et Energétique du Futuroscope et le Docteur Shin NISHIMURA du *Research Center for Hydrogen Industrial Use and Storage* de l'Université de Kyushu sur l'analyse multi-échelles des mécanismes d'endommagement de polymères activés sous haute pression d'hydrogène.

Un autre PRC concernant les matériaux a été mené entre 2014 et 2015 par le Docteur Tsuyoshi KATO du Laboratoire Hétérochimie Fondamentale et Appliquée (LHFA) de l'Université Paul Sabatier de Toulouse et le Docteur Daisuke HASHIZUME de la *Materials Characterization Support Unit* du *Center for Emergent Matter Science* au RIKEN. Avant cela, un autre PRC a été mené entre 2013 et 2014 par le Docteur Olivier Hernandez (Université de Rennes 1) et le Professeur Hiroshi KAGEYAMA (Université de Kyoto) sur la nouvelle chimie des hydrures et les techniques avancées de diffusion/spectroscopie sur grands instruments pour une caractérisation multi-échelle.

c- Partenariat Hubert Curien (PHC) Sakura

Ce partenariat, soutenu par le Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MENESR) et le Ministère des Affaires étrangères et du Développement International (MAEDI) côté français et par la *Japan Society for the Promotion of Science* (JSPS) côté japonais, vise à soutenir la coopération bilatérale entre jeunes chercheurs français et japonais, dans tous les domaines scientifiques, y compris les sciences humaines et sociales. Le tableau ci-dessous recense quelques projets consacrés aux matériaux.

| Titre du projet | Période | Nom du porteur de projet français | Organisme du porteur de projet français | Nom du porteur de projet japonais | Organisme du porteur de projet japonais |
|---|----------------|--|--|--|--|
| <i>Exploration of highly sensitive photoresponsive systems using cooperative assemblies and</i> | 2014-2015 | Rémi METIVIER | Ecole Normale Supérieure de Cachan | Kenji MATSUDA | Université de Kyoto |

| | | | | | |
|--|-----------|--------------------------------------|--|--------------------|--|
| <i>unconventional photoreactions</i> | | | | | |
| <i>Investigation of novel boron-based materials for chemical hydrogen storage</i> | 2012-2013 | Umit DEMIRCI | Université de Montpellier | Takayuki ICHIKAWA | Université d'Hiroshima |
| <i>Force inference in cellular materials: from foams to tissues</i> | 2012-2013 | François GRANER | Université Paris Diderot (Paris 7) | Shuji ISHIHARA | Université de Tokyo |
| <i>Radical-based materials and molecular junctions : a multi-scale approach to electronic correlation</i> | 2012-2013 | Vincent ROBERT | Université de Strasbourg | Masahisa TSUCHIIZU | Université de Nagoya |
| <i>Investigation of the photodynamics of new photochromic materials based on hexaarylbiimidazole derivative</i> | 2009-2010 | Michel SLIWA | Université de Lille | Jiro ABE | Aoyama Gakuin University |
| <i>Electroluminescence from nanocrystalline Si - electroactive polymer composites</i> | 2007-2008 | Thierry DJENIZIAN et Philippe KNAUTH | Université de Provence | Nobuyoshi KOSHIDA | Tokyo University of Agriculture and Technology |
| Production d'hydrogène à partir de matériaux photocatalytiques (oxy)nitrures actifs en lumière visible. | 2006-2007 | Franck TESSIER | Université de Rennes 1 | Kazunari DOMEN | Université de Tokyo |
| <i>Photo- and thermo-responsive molecular nanocrystals and optical property enhancement by hybridization with metal nanoparticles.</i> | 2005-2006 | Keitaro NAKATANI | Ecole Normale Supérieure de Cachan | Tsuyoshi ASAH | Université d'Osaka |
| Comportement des liquides sur des surfaces texturées | 2004-2005 | David QUERE | Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielles | Ko OKUMURA | Université d'Ochanomizu |

d- Autres programmes et projets franco-japonais

La *Japan Science and Technology Agency* (JST) a annoncé en août 2016 le lancement de quatre projets conjoints avec l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR) dans le cadre du *Strategic International Collaborative Research Program* (SICORP), un programme de collaboration sur des thématiques stratégiques décidées par le MEXT sur la base d'ententes intergouvernementales

L'un de ces projets, mené par Yousoo KIM (*Surface and Interface Science Laboratory*, RIKEN) et Sylvain CLAIR (Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence, CNRS) s'intitule *On-surface synthesis of covalent networks with integrated optical functions* et vise à créer des surfaces photoactives ayant certaines propriétés optiques. Ces recherches auraient à long terme des applications dans les domaines des systèmes émetteurs de lumière, les membranes intelligentes, les surfaces chirales, le photovoltaïque et la mémoire moléculaire.

L'Université Waseda, l'Université de Montpellier 2, l'École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier et la Fondation Pôle Balard ont signé en 2012 un mémorandum d'entente afin de renforcer et d'amplifier les collaborations existantes dans le domaine des matériaux nanoporeux et nanostructurés pour l'énergie, l'environnement et la santé. Cette coopération a donné lieu à un séminaire sur ces thématiques en septembre 2013.

Dépassant le cadre franco-japonais, un programme de coopération internationale entre les universités japonaises et des établissements du monde entier sur les échanges scientifiques et pédagogiques nommés *International Training Program* (ITP) ont également été lancés par la *Japan Society for the Promotion of Science* (JSPS) à partir de 2007. Le programme, d'une durée de 3 ans, a financé une dizaine de projets par an à hauteur de 20 millions de yens par an pendant 5 ans. Deux des projets entrant dans le cadre de ce programme en 2009 étaient centrés sur les sciences des matériaux ; l'un intitulé *Step-up Educational Program for Young Bio-Material Scientists on an International Training Network* et mené par le *Nara Institute of Science and Technology*, l'Université Paul Sabatier à Toulouse, L'École Polytechnique et l'Université de Californie et le second intitulé *Japan-Europe-US International Training Program for Young Generation in Molecular Materials Science for Development of Molecular Devices* et mené par le *Tokyo Institute of Technology*, l'iCeMS, l'Université de Nagoya, le *Kyushu Institute of Technology*, les *National Institutes of Natural Sciences* au Japon et par l'Université de Rennes, la *Florida State University* et l'Université de Durham au Royaume-Uni.

Conclusion

Le gouvernement japonais considère la recherche sur les matériaux comme hautement stratégique, comme le montrent les nombreux projets lancés tant à l'échelle nationale que dans le cadre de collaborations avec des équipes étrangères (y compris françaises) et financés par les agences gouvernementales. Ces projets, ainsi que les importants moyens alloués aux instituts de recherche majeurs, permettent au Japon de rester, comme la France, très compétitif et innovant dans le domaine des matériaux et de leurs applications. Les deux pays ayant des compétences très proches et souvent complémentaires, les nombreux exemples de la coopération sur la recherche sur les matériaux se sont montrés fructueux et durables.

Parmi les thématiques prioritaires en France²⁵ et au Japon, les matériaux issus de la biomasse en remplacement des produits pétrochimiques, les matériaux pour l'énergie et l'amélioration de l'efficacité énergétique, les matériaux pour l'imagerie médicale, la substitution et l'économie de métaux rares, les semi-conducteurs, les matériaux pour l'optique et la photonique ainsi que les nanomatériaux semblent les plus propices à des collaborations qui bénéficieraient aux deux pays.

²⁵ D'après la contribution française sur les priorités scientifiques et technologiques au cadre stratégique commun de recherche et d'innovation « Horizon 2020 », consultable sur http://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/Espace_Europeen_de_la_Recherche/56/8/priorites_thematiques_fr_horizon_2020_195568.pdf