



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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

La stratégie du Japon en matière d'énergies renouvelables et ses acteurs

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

Mars 2017

Table des matières

Introduction.....	1
I- Stratégie du Japon en matière d'énergies renouvelables.....	2
1- Objectifs du gouvernement et principales mesures post-Fukushima.....	2
2- Un programme interministériel de promotion de l'innovation pour l'hydrogène et les énergies renouvelables.....	5
3- Agences de financement gouvernementales japonaises.....	6
II- Panorama de la recherche au Japon.....	11
1- Energie photovoltaïque.....	12
2- Energie éolienne.....	14
3- Energies hydroélectrique et marine.....	16
4- Energie géothermique.....	18
5- Energie provenant de la biomasse et biofuel.....	19
6- Production d'hydrogène à partir des énergies renouvelables.....	21
III- Autres acteurs japonais de la recherche sur les énergies renouvelables.....	23
1- L'AIST, un institut majeur dépendant du METI.....	23
2- World Premier International Research Center Initiative (WPI).....	25
3- Instituts de recherche universitaires notables.....	26
4- Entreprises japonaises.....	26
5- Sociétés et instituts indépendants.....	27
IV- Collaboration franco-japonaise en matière de recherche sur les énergies renouvelables.....	28
1- Le LINK, une Unité Mixte Internationale (UMI) centrée notamment sur les matériaux pour l'énergie.....	28
2- Laboratoires Internationaux Associés (LIA).....	29
3- Programmes et projets franco-japonais.....	31
4- Actions de l'ambassade de France au Japon.....	32
V- Le cas de l'énergie géothermique au Japon.....	33
Conclusion.....	35

Introduction

Le Japon est le cinquième consommateur d'énergie au monde avec une consommation équivalente à 435 millions de tonnes de pétrole en 2015. A l'heure où la COP21 a rassemblé 195 Etats et l'Union Européenne autour des discussions sur le changement climatique, son mix énergétique s'appuie à près de 90% sur les énergies fossiles depuis que la quasi-totalité de ses réacteurs nucléaires a été stoppée à la suite de la catastrophe de Fukushima en 2011. Le Japon est par exemple le premier importateur mondial de LNG (*Liquified Natural Gas*) avec 85 millions de tonnes importées en 2015. Cette consommation importante s'accompagne de problématiques telles que la dépendance énergétique du pays et ses émissions de gaz à effet de serre. Afin d'y remédier, le gouvernement a mis en place des mesures visant à diminuer la consommation totale d'énergie et à rééquilibrer le mix énergétique.

La promotion et le développement des énergies renouvelable sont les principaux moyens mis en avant par le gouvernement japonais pour atteindre ce second objectif et répondre aux problématiques citées précédemment. Ces mesures reposent sur une augmentation de l'exploitation des cinq classes d'énergies renouvelables existantes :

- Photovoltaïque ou solaire,
- Hydroélectrique (incluant l'énergie fournie par les barrages hydroélectriques mais aussi par les vagues et les marées),
- Eolienne,
- Energie issue de la biomasse ou de l'incinération de déchets,
- Géothermique.

Le Japon accorde également une grande importance à l'hydrogène qui, bien qu'il ne soit pas une énergie mais un vecteur énergétique, peut être produit de manière respectueuse de l'environnement à partir d'énergies renouvelables ; ce rapport s'y intéressera donc également.

L'objectif du présent rapport est de proposer une vue d'ensemble de la stratégie du Japon dans le domaine des énergies renouvelables et des acteurs qui la portent au moment de sa rédaction. Pour cela, il exposera dans un premier temps la stratégie gouvernementale japonaise en matière de promotion et de développement des énergies renouvelables. Il dressera ensuite une liste non exhaustive des instituts les plus actifs au Japon pour chacune des classes d'énergies renouvelables et pour la production d'hydrogène à partir d'énergies renouvelables, associés à leurs chercheurs les plus prolifiques en termes de publications et aux thématiques sur lesquelles portent leurs recherches. Enfin, il explicitera le rôle des principaux acteurs de la recherche japonaise et de la collaboration avec la France.

I- Stratégie du Japon en matière d'énergies renouvelables

1- Objectifs du gouvernement et principales mesures post-Fukushima

Suite à la catastrophe de Fukushima, le gouvernement japonais a considérablement accéléré les mesures destinées à promouvoir les énergies renouvelables afin de diminuer la part du nucléaire et des énergies fossiles dans le mix énergétique du pays. Les objectifs pour 2030, correspondant à ceux présentés par le Japon lors de l'accord de Paris sur le climat sont les suivants :

- atteindre un taux d'autosuffisance énergétique de 24,3% (contre 6,1% en 2013 et 19,9% avant la catastrophe de Fukushima),
- diminuer les coûts de l'électricité de 2 à 5% (ils sont actuellement près de 50% plus élevés que la moyenne des pays de l'OCDE),
- réduire les émissions totales de CO₂ de 26% par rapport à 2013 (et réduire dans cette optique les émissions de CO₂ liées à l'énergie de 21,9%).

Si la réduction des coûts de l'électricité à très court terme passe majoritairement par le nucléaire et l'énergie thermique provenant des sources fossiles, les énergies renouvelables sont au cœur des politiques mises en place pour atteindre les deux autres objectifs, leur part dans le mix devant se situer entre 22% et 24% d'ici à 2030¹, contre 12% en 2016. La stratégie du gouvernement pour parvenir à ce chiffre diffère selon les classes d'énergie. En effet, elle prévoit une faible augmentation de l'utilisation de l'énergie hydroélectrique entre 2013 et 2030 (+10%) et une forte augmentation de la capacité d'exploitation de la biomasse (+200%), des énergies géothermique et éolienne (+300%) et surtout photovoltaïque (+600%).

Outre l'augmentation du nombre de programmes soutenant les projets de recherche sur les énergies renouvelables, qui seront évoqués dans la partie I-3, des mesures à l'échelle nationale ont été mises en place, parmi lesquelles la loi sur les mesures spéciales concernant la distribution d'électricité provenant des énergies renouvelables par les compagnies électriques². Cette loi inclut notamment des quotas de vente d'électricité provenant des énergies renouvelables et de nouveaux « *feed-in tariffs* » ou « prix d'achat fixes » pour l'électricité provenant des énergies renouvelables³ selon le schéma décrit dans le tableau 1 en page suivante. Cette mesure, qui devait permettre d'introduire plus d'électricité provenant des énergies renouvelables sur le réseau sans que leur coût élevé n'ait de conséquences trop importantes pour les consommateurs, a depuis constamment évolué. En effet, afin de permettre un meilleur équilibre des différents types d'énergies renouvelables dans le mix énergétique et de réduire le coût pour les consommateurs, le système de vente de l'électricité provenant des centrales photovoltaïques de grande taille changera au 1^{er} avril 2017. Le nouveau système prendra la forme d'enchères inversées ; les producteurs proposeront des offres aux compagnies électriques pour avoir le droit de fournir une certaine quantité d'électricité aux prix le plus bas possible.

¹ http://www.meti.go.jp/english/press/2016/pdf/0517_01.pdf

² Traduction de la loi en anglais: <http://www.japaneselawtranslation.go.jp/law/detail/?id=2573&vm=04&re=02>

³ http://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/renewable/

Tableau 1 : Feed-in tariff pour les énergies renouvelables au Japon (METI)

		Purchase prices (JPY/kWh) (tax excluded)						Purchase period	
		FY2012	FY2013	FY2014	FY2015		FY2016		
					Apr.-Jun.	Jul.-Mar.			
Solar	Less than 10 kW	42	38	37	33		31	10 years	
	when output control system are required				35		33		
	Less than 10 kW (+ energy storage system)	34	31	30	27		25		
	when output control system are required				29		27		
10 kW or more	40	36	32	29	27	24	20 years		
Wind	Onshore	Less than 20 kW	55	55	55	55		20 years	
		20 kW or more	22	22	22	22			
	Offshore	/			36		36		
Geothermal	Less than 15,000 kW	40	40	40	40		40	15 years	
	15,000 kW or more	26	26	26	26		26		
Hydro	Fully new facilities	Less than 200 kW	34	34	34	34		20 years	
		200-1,000 kW	29	29	29	29			
		1,000-30,000 kW	24	24	24	24			
	Utilize existing headrace	Less than 200 kW	/			25	25		25
		200-1,000 kW	/			21	21		21
		1,000-30,000 kW	/			14	14		14
Biomass	Wood (general), agricultural residues		24	24	24	24		20 years	
	Forest residues	Less than 2,000 kW	32	32	32	40			
		2,000 kW or more				32			
	Wood waste from buildings		13	13	13	13			
	Municipal waste		17	17	17	17			
	Biogas		39	39	39	39			

Le gouvernement japonais a également mis en place une taxe carbone qui s'additionne aux autres taxes sur les énergies fossiles depuis octobre 2012 et devrait rapporter 262,3 milliards de yens (2,17 milliards d'euros) par an, constituant un « Fond Vert » administré par la *Green Finance Organization*, qui utilise ces fonds pour investir dans des projets de promotion des énergies renouvelables. Ce fond a servi à financer des projets (notamment un projet de méga-centrale solaire entre les préfectures de Kyoto et Wakayama et un projet de production d'électricité à partir de biogaz provenant de déchets industriels dans la préfecture de Gunma) à hauteur de 7,8 milliards de yens (64,4 millions d'euros) et a levé 66,4 milliards de yens (548,5 millions d'euros) en fonds privés depuis l'année fiscale 2013⁴.

Par ailleurs, dans le cadre de l'accord de Paris, le Ministère japonais de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie (METI) multiplie les collaborations à l'international couplées à une stratégie nationale pour réduire l'empreinte environnementale du Japon. Il a notamment finalisé en avril 2016 une *Innovative Energy Strategy*⁵ visant à atteindre les objectifs cités en début de partie en multipliant par deux la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique japonais, mais aussi en augmentant l'efficacité énergétique de 35% d'ici à 2030. La part du budget que le METI consacre au développement des énergies nouvelles et renouvelables et de l'hydrogène a cependant globalement diminué entre 2016 et 2017, passant de 160,2 milliards de yens (1,3 milliard d'euros) à 132,9 milliards de yens (1,1 milliard d'euros). Cette baisse est notamment due à la diminution des financements suivants :

⁴ <http://greenbanknetwork.org/green-finance-organisation-japan/>

⁵ http://www.meti.go.jp/english/press/2016/0419_02.html

- concernant l'énergie éolienne (9 milliards de yens à 5,4 milliards de yens, soit 74,3 millions d'euros à 44,6 millions d'euros, pour un projet d'éolien flottant, une solution adaptée au profil côtier japonais, et pour un projet de démonstration de raccordement d'éoliennes au réseau dans le Tohoku et à Hokkaido). Il s'agit de projets dont les coûts de mise en place ont déjà été couverts les années précédentes ;
- la prospection pour l'énergie géothermique (10 milliards de yens à 9 milliards de yens, soit 82,6 millions d'euros à 74,3 millions d'euros) ;
- l'implémentation de stations hydrogène (6,2 milliards de yens à 4,5 milliards de yens, soit 51,2 millions d'euros à 37,2 millions d'euros).

Les subventions ayant augmenté sont celles consacrées à :

- l'introduction de l'énergie hydroélectrique (1,05 milliard de yens à 2,1 milliards de yens, soit de 8,7 millions d'euros à 17,4 millions d'euros) ;
- la bioénergie (5,9 milliards de yens à 8,3 milliards de yens, soit 48,7 millions d'euros à 68,6 millions d'euros).

Le budget recherche et développement consacré à la réduction des coûts des énergies renouvelables et leur intégration sur le réseau a par ailleurs sensiblement augmenté, passant de 55,2 milliards de yens à 56,3 milliards de yens (soit 456 millions d'euros à 465 millions d'euros). La composition de cette part du budget ainsi que son évolution entre 2016 et 2017 sont les suivantes :

Tableau 2 : Budget R&D du METI pour les énergies renouvelables et l'hydrogène (METI)

Part du budget	Budget 2016		Budget 2017	
	(milliards de yens)	(millions d'euros)	(milliards de yens)	(millions d'euros)
R&D pour la réduction des coûts de l'éolien flottant	7,5	62	6,32	52,2
R&D pour les systèmes HVCD offshore	1,05	8,7	0,5	4,1
R&D pour la réduction des coûts du photovoltaïque	4,65	38,4	5,4	44,6
R&D pour la mise en place de systèmes de production de biocarburants	0,4	3,3	2	16,5
R&D pour la production de biocarburant à partir d'algues	0,25	2,1	0,25	2,1
R&D pour les pompes à chaleur	1,2	9,9	0,8	6,6
R&D pour l'amélioration des techniques de prospection pour l'énergie géothermique	1,85	15,3	2,2	18,2
R&D pour les énergies marines renouvelables	1	8,3	0,6	4,96
R&D pour l'adaptation du réseau électrique aux fluctuations causées par l'introduction d'électricité provenant d'énergies renouvelables	6,5	53,7	7,3	60,3
Modélisation de centrales électriques virtuelles et de la demande des consommateurs	2,95	24,4	4	33
Logistique pour l'approvisionnement en hydrogène	2,8	23,1	4,7	38,8
R&D pour la sûreté des technologies hydrogène à haute pression	4,15	34,3	4,1	33,9
R&D pour la réduction des coûts et l'amélioration de piles à combustible de nouvelle génération	3,7	30,6	3,1	25,6

On peut constater que si le METI réduit le budget consacré à la prospection de nouveaux sites géothermiques, il augmente le budget dédié à l'amélioration des techniques utilisées. De même, si le budget de construction de stations hydrogène diminue, celui dédié à l'approvisionnement en hydrogène (notamment produit à l'étranger) augmente. Le budget 2017 du METI alloue également des fonds plus importants à l'utilisation de la biomasse.

Cette dernière tendance favorisant l'utilisation de la biomasse s'observe également au sein des budgets des autres ministères. Le Ministère japonais de l'Environnement (MOE) alloue par exemple 4,51 milliards de yens (33,9 millions d'euros) aux bio-énergies contre 3 milliards de yens (24,8 millions d'euros) à l'éolien, 3,4 milliards de yens (28,1 millions d'euros) à l'hydroélectrique et 1,2 milliard de yens (9,9 millions d'euros) aux énergies marines renouvelables. Le photovoltaïque n'est quant à lui pas soutenu par le MOE car son développement bénéficie déjà de nombreux financements en recherche et développement par d'autres ministères. Le Ministère japonais de l'Education, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie (MEXT) ne détaille pas son budget par type d'énergie, mais a choisi la conversion de la biomasse et les biocarburants comme l'un des thèmes pour les projets de recherche communs entre la *Japan Science and Technology Agency* (JST, cf. partie I-3-a)) et l'Union Européenne à l'horizon 2020. Enfin, en 2017, le Ministère japonais du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme (MLIT) consacre 1 067,54 milliards de yens (8,8 milliards d'euros) à l'aménagement des réseaux urbains d'eau usée notamment dans l'objectif d'en tirer de l'énergie, contre 909,94 milliards de yens (7,5 milliards d'euros) en 2016.

2- Un programme interministériel de promotion de l'innovation pour l'hydrogène et les énergies renouvelables

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 *Energy Carriers*⁶, a pour but de créer une société durable et économiquement sûre utilisant de l'électricité et de l'hydrogène produits grâce aux énergies renouvelables. Le programme promeut l'électricité issue des énergies renouvelables comme l'une des deux sources d'hydrogène – la seconde étant le reformage des hydrocarbures couplé au piégeage et à l'utilisation du CO₂ émis. Financé à hauteur de 3,04 milliards de yens (25,1 millions d'euros) par an par la *Japan Science and Technology Agency* (JST), il est dirigé par Shigeru MURAKI, conseiller exécutif à Tokyo Gas Co., Ltd, le principal fournisseur de gaz naturel dans le Kanto. Bien qu'il soit principalement centré sur les vecteurs énergétiques, le programme inclut une phase de coopération internationale pour la promotion des énergies renouvelables à partir de 2018.

⁶ Brochure du programme SIP *Energy Carriers* : http://www8.cao.go.jp/cstp/panhu/sip_english/22-25.pdf

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 NRDA⁷, elle finance généralement les projets de recherche fondamentale ou appliquée des laboratoires et instituts indépendants ou académiques sur des sujets définis par le MEXT. La JST soutient un grand nombre de projets par le biais de ses différents programmes, si bien que les chercheurs affiliés à la JST représentent le second plus important volume de publications sur l'énergie photovoltaïque au Japon. Ce même dynamisme de la JST dans de nombreux domaines permet à l'agence de figurer à la troisième place du classement de Thomson-Reuters des institutions de recherche les plus innovantes au monde en 2015⁸. Les programmes finançant des projets liés aux énergies renouvelables seront explicités ci-après, les détails de leurs thématiques et de projets soutenus étant accessibles depuis le portail de chaque programme.

Le programme *Impulsing Paradigm Change through Disruptive Technologies (IMPACT)*⁹ 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). Bien qu'aucun projet sur les énergies renouvelables ne soit encore soutenu par ce programme, elles figurent parmi les thématiques principales du projet.

La JST dispose également d'un programme nommé *Precursory Research for Embryonic Science and Technology (PRESTO)*¹⁰ visant à promouvoir la recherche fondamentale dans les domaines stratégiques. Le programme PRESTO finance de nombreux projets pour une durée de 3 à 5 ans à hauteur de 30 millions de yens à 100 millions de yens (soit 250 000 euros à 830 000 euros), permettant au porteur du projet de recruter une équipe et de présenter l'avancée de leurs travaux lors de séminaires biannuels. Le programme couvre un large éventail de domaines et finance plusieurs dizaines de projets lancés en 2015 et 2016. Concernant le domaine de l'énergie, ces projets sont regroupés dans les thématiques suivantes :

- *Photoenergy conversion systems and materials for the next generation solar cells*, qui promeut de nouvelles approches sur certains types de cellules photovoltaïques haute performance (à colorant, à couches minces organiques et à points quantiques) ;

⁷ Le statut de *National Research and Development Agency (NRDA)* confère aux instituts une plus grande marge de manœuvre dans leur gestion. Ils peuvent entre autres déterminer le salaire de leurs chercheurs qui faisaient partie, jusqu'ici, de la grille des fonctionnaires nationaux. L'objectif de ce statut est d'augmenter autant que possible les résultats de R&D des NRDA par rapport aux investissements qui leur sont affectés.

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

⁹ <http://www.jst.go.jp/impact/en/intro.html>

¹⁰ <http://www.jst.go.jp/kisoken/presto//en/about/index.html>

- *Scientific innovation for Energy Harvesting Technology*, visant à mettre au point des technologies de conversion de la microénergie ambiante en électricité par l'amélioration des matériaux photovoltaïques, piézoélectriques et thermoélectriques ou encore le développement de polymères capables de capter l'énergie des vibrations ;
- *Creation of essential technologies to utilize carbon dioxide as a resource through the enhancement of plant productivity and the exploitation of plant products*, qui étudie les possibilités de stockage du dioxyde de carbone, d'amélioration de la photosynthèse et de l'efficacité de la production d'énergie à partir de la biomasse ;
- *Creation of Basic Technology for Improved Bioenergy Production through Functional Analysis and Regulation of Algae and Other Aquatic Microorganisms*, regroupant les projets visant à créer des technologies de production d'énergie à partir d'algues et de microorganismes aquatiques ;
- *Chemical conversion of light energy*, qui soutient le développement de projets visant à stocker l'énergie solaire notamment en produisant de l'hydrogène ;
- *Phase Interfaces for Highly Efficient Energy Utilization*, dont les projets visent à créer des interfaces de phases permettant une conversion et un transfert efficaces de l'énergie ;
- *Creation of Innovative Core Technology for Manufacture and Use of Energy Carriers from Renewable Energy*, visant à rendre plus efficace l'utilisation des énergies renouvelables en améliorant leur conversion en vecteurs d'énergie et à améliorer ceux-ci, notamment en développant de nouvelles piles à combustible et de nouvelles méthodes de production de l'hydrogène et d'autres vecteurs.

La liste complète des thématiques de recherche de PRESTO peut être trouvée sur la brochure du programme¹¹.

Un programme nommé *Core Research for Evolutionary Science and Technology* (CREST)¹², qui finance des projets de recherche jusqu'à une durée de 5 ans à hauteur de 40 millions de yens à 120 millions de yens (soit 330 000 euros à 990 000 euros) par an, classe les projets soutenus selon les mêmes thématiques. Les superviseurs de ces thématiques de recherche sont issus de tous les milieux, académiques, gouvernementaux et industriels. L'objectif affiché est de financer des projets stratégiques ayant un impact assez important sur l'économie pour bénéficier directement aux contribuables. Le programme CREST soutient également des projets internationaux, dont sept projets franco-japonais (tous dans des domaines autres que les énergies renouvelables). La liste complète des thématiques de recherche de CREST peut être trouvée sur la brochure du programme¹³.

Par ailleurs, il existe un programme de la JST nommé *Creation of Advanced Catalytic Transformation for the Sustainable Manufacturing at Low Energy, Low Environmental Load* (ACT-C)¹⁴ qui finance plus d'une cinquantaine de projets pendant 5 ans à hauteur de 40 millions de yens à 300 millions de yens (soit 330 000 euros à 2,5 millions d'euros). Les principaux sujets concernent le piégeage, la conversion et l'utilisation du CO₂ ainsi que la synthèse de composés chimiques et de matériaux et ont pour dénominateur commun l'amélioration de l'efficacité de la catalyse des réactions impliquées. La

¹¹ http://www.jst.go.jp/kisoken/presto/pamphlet/presto_eng_pamph.pdf

¹² <http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/en/about/index.html>

¹³ http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/en/crest_eng_pamph.pdf

¹⁴ <http://www.jst.go.jp/act-c/en/about/index.html>

liste complète des projets en cours soutenus dans le cadre de CREST peut être trouvée sur la brochure du programme¹⁵.

Enfin, depuis 2010, la JST fournit également un cadre plus spécifique aux projets nationaux dédiés au développement de technologies bas carbone grâce à l'*Advanced Low Carbon Technology Research and Development Program (ALCA)*¹⁶. Les projets sélectionnés peuvent bénéficier d'un financement de 10 millions de yens à 30 millions de yens (83 000 euros à 250 000 euros) par an pendant une durée maximale de 10 ans. Les thématiques concernées par ce programme visent principalement à rendre plus propres les technologies utilisées dans les centrales de production d'électricité à partir d'énergies non renouvelables, à améliorer les technologies de stockage d'énergie, piles à combustible et systèmes à hydrogène compris et à développer les biotechnologies. Le programme soutient cependant une quinzaine de projets de recherche sur les cellules photovoltaïques et les systèmes de l'énergie solaire. La liste complète des projets en cours soutenus dans le cadre d'ALCA peut être trouvée sur la brochure du programme¹⁷.

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, ses deux principales missions sont la réponse aux grandes questions environnementales et énergétiques (au Japon et partout dans le monde) et le renforcement des filières technologiques japonaises. Pour cela, 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 en temps normal risqué de financer au vu de l'incertitude des applications pratiques. Sur 120,8 milliards de yens (1 milliard d'euros) consacrés à ces projets lors de l'année fiscale japonaise 2016, une grande partie est consacrée à l'énergie puisque 43,1 milliards de yens (356 millions d'euros) sont alloués aux projets concernant les nouvelles énergies, 10,8 milliards de yens (89,2 millions d'euros) aux projets concernant la conservation de l'énergie et 4,8 milliards de yens (39,6 millions d'euros) aux projets concernant les systèmes énergétiques et batteries rechargeables. On peut également noter que 16,6 milliards de yens (137,1 millions d'euros) sont consacrés au développement de technologies propres.

Parmi les projets ayant trait aux énergies renouvelables soutenus par la NEDO, on peut par exemple citer celui dédié à la promotion de la recherche et du développement en vue de l'implémentation de centrales photovoltaïques à grande échelle, mis en lumière dans la brochure de l'organisation en 2016¹⁸. Démarré en 1974 suite à la première crise pétrolière, ce projet a pris en 1980 le nom de « Sunshine Project » et a ensuite évolué pour devenir au début des années 2010 une feuille de route

¹⁵ http://www.jst.go.jp/kisoken/en/brochure/act-c_2016_en.pdf?bcsi_scan_cabb249f18b09402=0&bcsi_scan_filename=act-c_2016_en.pdf

¹⁶ <http://www.jst.go.jp/alca/en/>

¹⁷ http://www.jst.go.jp/alca/en/pdf/ALCA_Brochure_2016.pdf

¹⁸ http://www.nedo.go.jp/library/pamphlets/KH_201606_en_goannai.html (document *Profile of NEDO* en anglais)

de l'énergie photovoltaïque pour le Japon à l'horizon 2030. Il a servi durant ces 40 années de cadre à des projets d'amplitudes diverses, de la première centrale photovoltaïque connectée au réseau électrique en 1986 à l'établissement de divers records d'efficacité de conversion de l'énergie photovoltaïque.

Un autre important projet consacré aux appareils électroniques de puissance a quant à lui été lancé en 1998. Les recherches menées dans le cadre de ce projet trouvent des applications aussi bien dans l'utilisation des énergies renouvelables et les centrales électriques que dans l'automobile et l'électroménager. Elles sont centrées sur le carbure de silicium et, depuis 2002, sur le nitrure de gallium, deux matériaux offrant des perspectives prometteuses dans l'amélioration de l'efficacité des appareils électroniques et leur miniaturisation

Le tableau suivant, issu de la brochure de la NEDO, fait état des projets nationaux de la NEDO en cours en 2016 dans le domaine des énergies renouvelables.

Tableau 3 : Projets nationaux sur les énergies renouvelables soutenus par la NEDO au cours de l'année fiscale 2016 (Profile of NEDO)

Project Name	Period (FY)
National Projects	
(i) New Energy Field	
(a) Photovoltaic Power Generation	
1. Demonstration Project on PV Generation Systems for Versatile Applications	2013 - 2016
2. Photovoltaic Power Generation System Efficiency Improvement and Maintenance Technology Development Project	2014 - 2018
3. Photovoltaic Power Generation Recycling Technology Development Project	2014 - 2018
4. Development of High-Performance and Reliable PV Modules for Generation Cost Reduction	2015 - 2019
(b) Wind Power Generation	
1. Research and Development of Wind Power Generation Technologies	2008 - 2017
2. Project for Supporting the Introduction of Wind Power Generation	2013 - 2017
(c) Biomass	
1. Research and Development of Biomass Energy Technologies	2004 - 2019
2. Demonstration Project for Independent Regional Biomass Energy Systems	2014 - 2020
(d) Ocean Energy Generation	
1. Research and Development of Ocean Energy Technologies	2011 - 2017
(e) Utilization of Heat as Renewable Energy	
1. Research and Development of Geothermal Energy Generation Technologies	2013 - 2017
2. Research and Development for Utilization of Heat as Renewable Energy	2014 - 2018
(f) System Support	
1. Research and Development Project on Technologies to Respond to Power System Output Fluctuations	2014 - 2018
2. Demonstration Project on Next-Generation Power Grid Construction for Distributed Energy	2014 - 2018
3. Development of Next-Generation Offshore DC Power Transmission System	2015 - 2019
(g) Fuel Cells and Hydrogen	
1. Research and Development Project on Hydrogen Utilization Technologies	2013 - 2017
2. Technology Development for Promotion of Practical Applications of Solid Oxide Fuel Cells	2013 - 2017
3. Pilot Research and Development Project on Hydrogen Utilization	2013 - 2017
4. Technology Development Project for Construction of a Hydrogen Society	2014 - 2020
5. Technology Development for Promotion of Practical Polymer Electrolyte Fuel Cell Applications	2015 - 2019
(h) International Projects	
Other Projects in the New Energy Field	
1. New Energy Venture Technology Innovation Project	2007 -

II- Panorama de la recherche au Japon

Cette partie vise à dresser pour chacune des classes d'énergies renouvelables 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 cinq classes les cinq ou six organismes leaders au Japon classés par nombre de publications entre 2011 et 2017. 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 Trends¹⁹.

¹⁹ Scival Trends est édité par Elsevier et utilise les bases de données ScienceDirect et Scopus.

1- Energie photovoltaïque

Principaux organismes de recherche classés par nombre de publications concernant l'énergie photovoltaïque	Chercheurs de l'organisme ayant le plus publié sur l'énergie photovoltaïque entre 2011 et 2017	Principaux mots-clés utilisés dans les titres et abstracts des publications
Université de Tokyo (661 publications)	Masakazu SUGIYAMA, Yoshiaki NAKANO, Kentaro WATANABE	Semiconductor quantum wells Gallium arsenide Carrier transport Semiconducting gallium
	Yoshitaka OKADA	Semiconductor quantum dots Photons Photocurrents Quantum efficiency
	Hiroshi SEGAWA	Dyes Density functional theory Photoelectrochemical cells Semiconductor quantum dots
	Yutaka MATSUO	Fullerenes Open circuit voltage Heterojunctions Derivatives
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (565 publications)	Shigeru NIKI, Koji MATSUBARA, Shogo ISHIZUKA	Gallium Semiconducting selenium compounds Thin films Open circuit voltage Molecular beam epitaxy
	Michio KONDO, Hitoshi SAI	Silicon solar cells Thin films Microcrystalline silicon Open circuit voltage
	Takashi OOZEKI	Forecasting Mean square errors Vectors LSI circuits
	Yuji YOSHIDA	Heterojunctions Fullerenes Photocurrents Films Vacuum evaporation
National Institute for Material Science (371 publications)	Liyuan HAN, Ashraful ISLAM	Dyes Photoelectrochemical cells Photocurrents Absorption spectra
	Takeshi YASUDA	Heterojunctions Butyric acid Fullerenes

Tokyo Institute of Technology (350 publications)	Makoto KONAGAI, Porponth SICHANUGRIST	Thin films Amorphous silicon Silicon oxides Zinc oxides
	Yasuyoshi KUROKAWA	Silicon Open circuit voltage Energy gap Gallium Nanowires
	Akira YAMADA	Gallium Open circuit voltage Cadmium sulfide Semiconductor selenium compounds
Université de Kyoto (322 publications)	Hiroshi IMAHORI	Porphyrins Heterojunctions Fullerenes
	Hideo OHKITA, Shinzaburo ITO, Hiroaki BENTEN	Fullerenes Excitons Polymer blends Charge carriers
	Yoshihiko KANEMITSU	Photoluminescence Photocurrents Spectroscopy Semiconductor quantum dots
	Takashi SEGAWA	Butyric acid Open circuit voltage Nanorods Esters Zinc oxide Short circuit currents

2- Energie éolienne

Principaux organismes de recherche classés par nombre de publications sur l'énergie éolienne	Chercheurs de l'organisme ayant le plus publié sur l'énergie éolienne entre 2011 et 2017	Principaux mots-clés utilisés dans les titres et abstracts des publications
Université de Tokyo (151 publications)	Akihiko YOKOYAMA, Taisuke MASUTA	Electric frequency control Press load control Electric control equipment Energy storage
	Yasuyama FUJII, Ryoichi KOMIYAMA	Secondary batteries Installation Pumped storage power plants
Université des Ryukyu (77 publications)	Tomonobu SENJYU, Atsushi YONA	Wind turbines Turbogenerators Synchronous generators
	Naomitsu URASAKI	Wind turbines Synchronous generators Energy conversion Permanent magnets
	Abdul Motin HOWLADER	Wind turbines Energy storage Synchronous generators Energy conversion Permanent magnets
Kitami Institute of Technology (69 publications)	Junji TAMURA, Rion TAKAHASHI, Atsushi UMEMURA, Marwan ROSYADI	Farms Electric utility Synchronous generators Asynchronous generators Gas generators
	Jorge MOREL	Wind turbines Tidal power Predictive control systems Closed loop systems
	Shin'ya OBARA	Electric power transmission network Power generation MATLAB
Tokyo Institute of Technology (59 publications)	Hirofumi AKAGI	Wind turbines Energy storage Rotary converters Stars
	Ryuichi SHIMADA, Takanori ISOBE	Wind turbines Reactive power Power electronics Diodes
	Takayuki KAWAGUCHI	Wind turbines Diodes Farms

Université de Waseda (58 publications)	Yasuhiro HAYASHI	Synchronous generators Electric potential Metal bars Distributed power generation
	Ryuichi YOKOYAMA	Electric utilities Farms Electric power distribution
	Shinichi IWAMOTO	Press load control Electric power generation Electric frequency control Electric power supplies to apparatus
Université de Kyushu (57 publications)	Yuji OHYA	Wind turbines components Solar chimneys Aerodynamics Lenses
	Masataka IWAKUMA	Winding Tapes Transformers Critical current Rare earth elements

3- Energies hydroélectrique et marine

Principaux organismes de recherche classés par nombre de publications concernant les énergies hydroélectrique et marine	Chercheurs de l'organisme ayant le plus publié sur les énergies hydroélectrique et marine entre 2011 et 2017	Principaux mots-clés utilisés dans les titres et abstracts des publications
Université de Tokyo (42 publications)	Miguel ESTEBAN	Wave power Tidal power Wind power Thermal power
	Takashi FURUMURA	Wave energy conversion Moon Shear waves Coda
	Toshiyuki HIBIYA	Internal tide Wave energy conversion Bathymetry Dissipation
	Daisuke KITAZAWA	Ocean currents Acoustic measuring instruments Flow velocity Underwater structures
Université de Kyushu (20 publications)	Masashi KASHIWAGI	Waves Hydrodynamics Electric generators Energy absorption Boundary element method
	Yingyi LIU	Wave energy conversion Semisubmersibles Arctic engineering Water waves
	Changhong HU, Hongzhong ZHU	Semisubmersibles Constrained optimization Wave energy conversion Floating breakwaters
	Yasuhide FUKUMOTO	Rotating flow, rotational flow Shock tubes Bifurcation theory
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (19 publications)	Hiroyuki OSAWA	Wave energy conversion Columns (structural) Boundary element method
	Wataru SASAKI	Meteorological instruments Wave energy conversion Data assimilation Decadal variation

Université de Saga (17 publications)	Toshiaki SETOGUCHI, Kazutaka TOYOTA	Wave energy conversion Hydraulic turbines Columns (structural) Unsteady flow
	Shuichi NAGATA, Yasutaka IMAI, Tengen MURAKAMI	Wave power Columns (structural) Turbines Pendulums Power takeoffs
Université d'Osaka (12 publications)	Takahito IIDA, Guanghua HE	Hydrodynamics Sailing vessels Boundary element method Genetic algorithm
	Soshu KIRIHARA	Finite difference time domain method Wave energy conversion Terahertz waves
Université de Nagoya (12 publications)	Wei PENG	Mooring Hydraulic structures Floating breakwaters Velocity control

4- Energie géothermique

Principaux organismes de recherche classés par nombre de publications sur l'énergie géothermique	Chercheurs de l'organisme ayant le plus publié sur l'énergie géothermique entre 2011 et 2017	Principaux mots-clés utilisés dans les titres et abstracts des publications
Université du Tohoku (6 publications)	Noriyoshi TSUCHIYA	Geothermal fields Geothermal prospecting Sodium compounds Water injection
	Noriaki WATANABE	Geothermal fields Geothermal prospecting Sodium compounds Hydrogen production
Université de Kyoto (5 publications)	Taiki KUBO	Geothermal fields Advanced land observing satellite
	Binwei TIAN	Geothermal prospecting Resource assessment
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (5 publications)	Hirofumi MURAOKA	Geothermal wells Geothermal fields Plastics Water injection Rock mechanisms
Université de Kyushu (3 publications)	Ryuichi ITOI, Saeid JALILINSRABADY	Volcanic rock Cold storage Groundwater geochemistry
Université de Hirosaki (2 publications)	Seiichiro IOKA, Yota SUZUKI	Plastics Isotherms Mapping

5- Energie provenant de la biomasse et biofuel

Principaux organismes de recherche classés par nombre de publications sur la bioénergie	Chercheurs de l'organisme ayant le plus publié sur la bioénergie entre 2011 et 2017	Principaux mots-clés utilisés dans les titres et abstracts des publications
Université de Tokyo (61 publications)	Yasunori KIKUCHI	Models Environmental impact Industrial symbiosis Solvents
	Yasuki KANSHA, Atsushi TSUTSUMI	Drying Waste heat Fluidized beds Heat exchangers
	Kenji IMOUI	Grinding Straw Bioethanol Flotation
Tokyo Institute of Technology (43 publications)	Kunio YOSHIKAWA, Yafei SHEN	Gasification Tar Algae Pyrolysis
	Muhammad AZIZ	Drying Waste heat Fluidized beds Heat exchangers
	Koji TOKIMATSU	Carbon capture Air pollution Internet Education
Université du Tohoku (42 publications)	Toshihiko NAKATA	Electric power generation Agricultural wastes Bioethanol Energy conversion
	Takaaki FURUBAYASHI	Electric power generation Bioethanol Wood products Pelletizing
	Richard Lee Jr. SMITH	Biofuels Acids Sonication Potassium hydroxide Synthetic fuels
	Atsushi KISHITA	Sodium compounds Bioconversion Sugars Formic acid Formats

Université de Kyoto (40 publications)	Satoshi KONISHI	Carbon capture Friction Absorption Health hazards
	Isao HASEGAWA, Kazuhiro MAE	Lignin Acetone Depolymerization Organic acids
Université de Hokkaido (38 publications)	Tomohiro AKIYAMA	Economic geology Pelletizing Alternative fuels Waste treatment
	Junichiro HAYASHI	Gasification Steam Lignite Pyrolysis
	Toshihiko YAMADA	Bioethanol Ecology Computer operating systems harvesting

6- Production d'hydrogène à partir des énergies renouvelables

Principaux organismes de recherche classés par nombre de publications sur la production d'hydrogène à partir d'énergies renouvelables	Chercheurs de l'organisme ayant le plus publié sur la production d'hydrogène à partir d'énergies renouvelables entre 2011 et 2017	Principaux mots-clés utilisés dans les titres et abstracts des publications
Université de Tokyo (15 publications)	Kazunari DOMEN, Takashi HISATOMI, Tsutomu MINEGISHI	Solar power generation Photocatalysts Photoelectrochemical cells Semiconductor materials Carbon films
	Jun KUBOTA	Semiconductor materials Carbon nitride Electrolytic reduction Precious metals
	Hiroshi NISHIHARA	Photosynthesis Catalytic oxidation Cobalt Enzymes
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (11 publications)	Jun MIYAKE	Time delay Bacteria Photovoltaic cells Irradiation
	Akihiro NAKANO, Satia Sekhar BHOGILLA, Hiroshi ITO	Tanks (containers) Waste heat Fuel storage Solar concentrators Solar cells
Université de Kyushu (8 publications)	<i>Molecular Photoconversion Devices Division</i> (Cf. partie III-2 de ce rapport sur l'I ² CNER)	
Université de Kumamoto (6 publications)	Kohei SHIMAMURA, Fuyuki SHIMOJO	Digital arithmetic Renewable energy resources Supercomputers Activation energy Reaction kinetics
Université du Tohoku (6 publications)	Koji HASHIMOTO	Methanation Pilot plants Proven reserves Seawater Electric generators
	Heiji ENOMOTO	Bioconversion Renewable energy resources Sugars Formic acids Formats

Université de Kyoto (6 publications)	Keiichi N. ISHIHARA, Tetsuo TEZUKA, Satoshi KONISHI, Benjamin C. MCLELLAN	Electricity Electric generators Carbon Charcoal Air pollution
Université d'Osaka (6 publications)	Naoki IKENAGA, Saki OKAMURA, Nobuyuki TANAKA	Time delay Bacteria Photovoltaic cells Irradiation Genetic algorithms

III- Autres acteurs japonais de la recherche sur les énergies renouvelables

1- L'AIST, un institut de recherche majeur dépendant du METI

Le *National Institute for Advanced Industrial Science and Technology* (AIST) est 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 (760 millions d'euros) 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 monde²⁰. Dirigé par le Docteur Ryoji CHUBACHI, il a été désigné par le CSTI comme l'un des trois seuls NRDA dits « spéciaux », ce qui lui confère une plus grande souplesse dans la gestion administrative et lui permet de bénéficier d'une dotation budgétaire conséquente.

Le département énergie et environnement est au sein de l'AIST le mieux doté en termes de ressources humaines (18% des chercheurs) et de budget (17 milliards de yens soit 140,4 millions d'euros, également 18% du budget total). Il dispose de huit centres et instituts de recherches dont deux majeurs sont consacrés aux énergies renouvelables : le *Renewable Energy Research Center* et le *Research Center for Photovoltaics*.

Le *Renewable Energy Research Center* fait partie du *Fukushima Renewable Energy Institute, AIST* (FREA), un institut de recherche dédié aux énergies renouvelables et situé à Koriyama, dans la préfecture de Fukushima. Inauguré en avril 2014 dans le cadre de l'initiative gouvernementale « *Basic Guidelines for Reconstruction in response to the Great East Japan Earthquake* » mise en place en juillet 2011, il est notamment soutenu par les collectivités locales et bénéficie de nombreux partenariats avec des universités japonaises et des instituts étrangers. Les deux missions principales du FREA sont la promotion de la recherche et du développement des énergies renouvelables au Japon et à l'étranger et la contribution à la réhabilitation des zones sinistrées grâce au regroupement d'industries. Le FREA compte 6 équipes de recherche :

- *Energy network*, chargée d'étudier l'amélioration de l'intégration aux réseaux des énergies renouvelables et ressources distribuées ;
- *Hydrogen energy carrier*, qui s'intéresse à l'hydrogène comme vecteur d'énergie, essentiel selon l'institut à l'introduction d'une quantité importante et fluctuante d'énergies renouvelables sur le réseau japonais ;
- *Wind power*, dont l'objectif est de réduire les coûts de l'énergie éolienne et d'accélérer l'augmentation de sa part dans le mix énergétique japonais, notamment en optimisant les méthodes de choix des sites adaptés à l'installation de fermes éoliennes ;

²⁰ <http://www.reuters.com/article/us-innovation-rankings-idUSKCN0WA2A5>

- *Photovoltaic Power*, qui vise à réduire les coûts de l'énergie photovoltaïque pour augmenter la compétitivité des modules photovoltaïques ;
- *Geothermal Energy*, dont le but est de démocratiser l'utilisation de l'énergie géothermique de façon durable et en harmonie avec l'industrie des sources chaudes ;
- *Shallow geothermal and hydrogeology*, dont l'objectif est de développer la technologie GSHP (*Ground Source Heat Pump*), utilisée dès les années 1980, mais presque inconnue au Japon jusqu'aux années 2000.

Les installations du FREA abritent également le *Fukushima Top-level United Center for Renewable Energy Research – Photovoltaics Innovation (FUTURE-PV)*, un projet conjoint entre le Ministère japonais de l'Éducation, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie (MEXT) et de l'Agence pour la Reconstruction et dont l'objectif est de développer des cellules photovoltaïques à nanofils de silicium à haute efficacité (supérieure à 30%). Le projet comporte 3 équipes de recherches chargées respectivement de fabriquer du silicium cristallin de haute qualité, d'améliorer les procédés de fabrication des nanofils de silicium et d'assembler des modèles de cellules performants.

Le *Research Center for Photovoltaics*, situé dans les installations de l'AIST à Tsukuba, vise à développer les technologies du photovoltaïque de manière durable afin d'atteindre une société bas-carbone stable économiquement. Pour cela, le centre travaille autant à l'amélioration des technologies actuelles en collaboration avec le secteur privé qu'à la recherche fondamentale sur des systèmes de nouvelle génération. Il dispose des huit équipes de recherches suivantes :

- *Calibration, Standards and Measurements*, chargée de développer des systèmes de calibration et de calcul de performance des technologies du photovoltaïque ;
- *PV Systems and Application*, la seule équipe du centre de recherche qui travaille sur les modules photovoltaïques en tant que systèmes producteurs d'électricité et non comme de simples systèmes photovoltaïques ;
- *Module Reliability Research*, qui vise à améliorer le rendement et la durabilité des modules photovoltaïques ;
- *Compound Semiconductor Thin Film*, qui cherche à améliorer les méthodes de production de cellules photovoltaïques à couche mince comportant des matériaux semi-conducteurs (types CIGS et CZTS) ;
- *Advanced Processing Team*, qui travaille à réduire les coûts de production des cellules photovoltaïques notamment en se concentrant sur les cellules à couche mince ;
- *Smart Stack Device*, chargée de développer des technologies multijonction à bas coût ;
- *Functional Thin Film*, qui étudie les cellules à couche mince organique ;
- *Advanced Functional Materials*, qui vise à améliorer l'efficacité des cellules photovoltaïques à colorant et qui travaille sur la photosynthèse artificielle, dans le but d'utiliser l'énergie solaire avec la meilleure efficacité possible.

2- 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.

L'*International Institute for Carbon-Neutral Energy Research* (I²CNER), dépendant de l'Université de Kyushu et dirigé par le Professeur Petros SOFRONIS, est l'un des neuf instituts sélectionnés par l'initiative WPI. Établi 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. Il mène donc naturellement des recherches sur les énergies renouvelables (principalement le photovoltaïque).

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 2016 à 4,41 milliards de yens (36,4 millions d'euros), dont 1,25 milliard de yens (10,3 millions d'euros) accordés dans le cadre de la WPI.

3- Instituts de recherche universitaires notables

La plupart des universités japonaises les plus prestigieuses mènent des recherches actives sur les énergies renouvelables. Le panorama de la recherche en partie II et les exemples de l'Université de Kyushu, impliquée dans le WPI I²CNER (voir partie III-2) et de l'Université de Kyoto impliquée dans un laboratoire international associé franco-japonais, NextPV (voir partie IV-1-b) en témoignent. Certains projets menés par des universités plus modestes présentent également des orientations de recherche innovantes. C'est par exemple le cas de l'Université de Miyazaki qui compte deux types d'installations solaires : un capteur thermosolaire utilisé pour la production d'électricité, mais aussi comme four solaire pour la production de silicium métallique et d'hydrogène, et un concentrateur photovoltaïque dont les modules sont composés de cellules solaires à multi jonctions et de lentilles de Fresnel. L'Université des Ryukyu, située à Nishihara sur l'île d'Okinawa, dispose quant à elle d'un *Power Energy System Control Laboratory* très dynamique dans le domaine de l'énergie et dont des étudiants ont reçu le premier prix lors du *Fukushima Prefecture Renewable Energy Popularization Idea Contest* deux années de suite (2014 et 2015)²¹.

4- Entreprises japonaises

Les entreprises japonaises, encouragées par les directives gouvernementales, investissent beaucoup dans le marché des énergies renouvelables en pleine expansion au Japon. Au niveau de la recherche, cela se traduit par une course à l'innovation particulièrement observable pour le photovoltaïque. La société Kaneka Corp avait ainsi établi en octobre 2015 le record mondial d'efficacité pour une cellule photovoltaïque à base de silicium cristallin (25,1%) grâce au soutien de la NEDO, avant d'annoncer un an plus tard un nouveau record pour une cellule à base de silicium cristallin à double hétérojonction et à contact arrière (26,33%) puis d'établir le record d'efficacité pour un module photovoltaïque à base de silicium cristallin (24,37%).

Les grands groupes industriels japonais sont également très actifs dans le domaine des énergies renouvelables. On peut par exemple citer Hitachi, Toshiba et Mitsubishi Electric, à l'origine d'un nombre important de publications scientifiques. Hitachi concentre ses activités dans les énergies renouvelables sur l'éolien et le photovoltaïque, et développe les produits nécessaires au captage de l'énergie, à sa conversion et à son intégration au réseau électrique incluant les conditionneurs d'énergie, transformateurs ou encore dispositifs de stockage d'énergie permettant de lisser les fluctuations de la quantité d'énergie délivrée sur le réseau. Hitachi soutient également un projet de production de biocarburant à partir d'algues en Afrique du Sud dans le cadre du partenariat *Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development* (SATREPS) en collaboration notamment avec l'Université de Tsukuba. Toshiba développe des méthodes et technologies plus

²¹ <http://www.u-ryukyu.ac.jp/en/news/FirstPrize2015082501/>

efficaces et respectueuses de l'environnement pour les énergies renouvelables (hydroélectrique y compris marin, éolien et géothermique) au sein de son *Power and Industrial Systems Research and Development Center*, en plus de surveiller son impact environnemental en quantifiant ses ventes de produits liés au domaine de l'énergie et la réduction estimée des émissions de CO₂. Mitsubishi Electric commercialise des produits pour la génération de l'énergie (turbines, instruments de contrôle pour centrales), pour sa transmission et sa distribution et pour son stockage, ainsi que des systèmes photovoltaïques de tailles diverses. Sa stratégie de R&D inclut surtout la distribution d'électricité et les *smart grids*.

Les entreprises japonaises sont également très impliquées dans la construction et l'équipement des installations liées aux Jeux olympiques et paralympiques de 2020 à Tokyo. Le gouvernement japonais et celui de Tokyo espèrent faire du village olympique un modèle de quartier durable dont les bâtiments et les véhicules fonctionnent à l'hydrogène et qui deviendrait un quartier résidentiel après les Jeux. Afin de démocratiser les bus et autres véhicules à hydrogène et notamment la *Mirai*, la berline à hydrogène du constructeur automobile japonais Toyota, le gouvernement s'est dit prêt à prendre en charge plus de 40% de son prix d'achat (environ 65 000 euros) et à subventionner à hauteur de 80% la construction de nouvelles stations hydrogène. Quant au village olympique, qui accueillera près de 17 000 athlètes et autres invités, son approvisionnement en électricité se fera *via* des piles à combustible donc grâce à l'hydrogène, tout comme son approvisionnement en eau chaude.

Les compagnies productrices d'électricité étant quant à elles soumises à l'*Act on Special Measures Concerning Renewable Energy Electric Procurement by Operators of Electric Utilities (Renewable Portfolio Standard Act)*, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) et les neuf autres compagnies qui se partagent le marché japonais sont dans l'obligation d'observer des quotas de vente d'électricité issue des énergies renouvelables et étendent donc leur parc de production (bien qu'il leur soit possible de revendre de l'électricité achetée à d'autres producteurs). Les investissements se traduisent donc également par la construction fréquente de nouvelles centrales électriques par ces compagnies ou d'autres investisseurs privés ou publics. La capacité de production d'électricité issue du photovoltaïque au Japon augmente ainsi d'environ 9 GW par an depuis 2013²². Des centrales éoliennes voient également le jour, comme la première de la société Shizen Energy Inc., dans la préfecture de Saga, d'une capacité de 3,5 GW, qui revendra intégralement l'électricité produite à Kyushu Electric Power.

5- Sociétés et instituts indépendants

Il existe au Japon de nombreux instituts et organisations indépendants spécialisés dans le conseil en matière d'énergies renouvelables. Leurs missions consistent souvent à collecter des statistiques, développer des modèles politiques et financiers afin de conseiller le gouvernement, des collectivités locales ou des entreprises, ou encore construire des partenariats entre les acteurs du domaine au Japon et dans le monde notamment en organisant des conférences. Parmi elles, on peut citer :

²² <http://www.renewable-ei.org/en/statistics/annual.php>

- Le *Japan Council for Renewable Energy*, qui organise notamment une conférence internationale tous les quatre ans (la dernière ayant eu lieu en 2014), des workshops annuels pour la promotion des énergies renouvelables, et emploie de nombreux spécialistes pour ses activités de conseil ;
- le *Renewable Energy Institute*, qui a organisé plus d'une vingtaine de conférences et évènements internationaux depuis 2011, certains à l'occasion de la visite au Japon de spécialistes du domaine ;
- l'*Institute for Sustainable Energy Policies*, qui travaille à l'accomplissement d'une société de l'énergie durable selon quatre axes (des systèmes énergétiques renouvelables plus efficaces, une distribution homogène des risques et des avantages liés aux énergies renouvelables, une prise de décision transparente en ce qui concerne les énergies renouvelables et des communautés autonomes et décentralisées.

Le *Central Research Institute of Electric Power Industry* (CRIEPI) est quant à lui un institut de recherche qui travaille à l'élaboration de rapports commandés par les compagnies électriques japonaises ou, plus rarement, le METI et la NEDO. Environ 5% de cette production (rapports, publications scientifiques et brevets) concerne les énergies renouvelables.

IV- Collaboration franco-japonaise en matière de recherche sur les énergies renouvelables

1- Le LINK, une Unité Mixte Internationale (UMI) centrée notamment sur les matériaux pour l'énergie

Le *Laboratory for Innovative Key Materials and Structures* (LINK) est une Unité Mixte Internationale (UMI 3629) ayant pour partenaires le CNRS, Saint-Gobain 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). Actuellement, l'Institut des Sciences Chimiques (ISCR) de l'Université de Rennes 1 est un partenaire privilégié de cette collaboration.

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). L'université de Rennes et le NIMS ont signé des accords de collaborations scientifiques (2010-2020) et d'échanges d'étudiant (2013-2018). 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.

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 Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) et du Ministère des Affaires étrangères et du Développement International (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.

Les recherches de l'UMI LINK en matière de nanomatériaux inorganiques absorbant dans le domaine UV-visible trouvent des applications dans le photovoltaïque tandis que celles portant sur les matériaux luminescents dans le proche infrarouge peuvent être employées à développer des technologies de concentrateur solaire. 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.

2- Laboratoires Internationaux Associés (LIA)

a- Néel-NIMS for Nanoscience (3N-Lab)

Le laboratoire *Néel-NIMS for Nanosciences* (3N-Lab) est un Laboratoire International Associé entre l'Institut Néel²³ à Grenoble et le *National Institute for Materials Science* (NIMS) à Tsukuba. Il est coordonné par le Professeur Etienne GHEERAERT (Institut Néel, Université Grenoble-Alpes) 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

²³ Laboratoire de recherche fondamentale en physique de la matière condensée conjoint entre le CNRS et l'Université de Grenoble-Alpes.

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 composants électroniques en diamant pour des applications en électronique de puissance permettant une grande efficacité énergétique ;
- les matériaux supraconducteurs pour le transport de l'énergie et les champs magnétiques intenses ;
- les aimants permanents présents dans les générateurs électriques utilisés pour la conversion de l'énergie éolienne ou l'automobile ;
- 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. Plusieurs workshops franco-japonais ont été organisés conjointement par le NIMS et l'institut Néel, en particulier dans le domaine de l'énergie :

- 1st French-Japanese workshop on "Diamond power devices" (Grenoble-Chamonix, June 2013, NIMS-NEEL-AIST) ;
- 1st Tsukuba-Grenoble Workshop on Materials for Energy, (Grenoble, October 2014, NIMS-NEEL-Ville de Grenoble) ;
- 2nd French-Japanese workshop on "Diamond power devices" (Kyushu October 2014, NIMS-NEEL-AIST) ;
- 2nd Tsukuba-Grenoble Workshop on Materials for Energy (October 2015, NIMS-GIANT) ;
- 3rd French-Japanese workshop on "Diamond power devices" (Grenoble-Nîmes, July 2015, NIMS-NEEL-AIST) ;
- 3N-Lab Workshop on Permanent Magnets (Tsukuba, March 2017, NIMS-NEEL) ;
- 4th French-Japanese workshop on "Diamond power devices" (Okinawa, October 2017).

b- 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.

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 nuages²⁴ 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.

3- Programmes et projets franco-japonais

a- Projets de recherche

Le Partenariat Hubert Curien (PHC) Sakura, financé 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. Les quelques projets soutenus dans le cadre de ce partenariat concernent en grande partie l'énergie photovoltaïque et incluent les thèmes suivants :

- le développement d'une méthode de fabrication de cellules solaires à faible consommation de silicium, une collaboration entre l'Institut des Nanotechnologies de Lyon et *L'Institute for Material Research* de l'Université du Tohoku en 2005,
- le développement de films à base de nanofils pour les cellules photovoltaïques à jonction tandem, une autre collaboration entre l'Institut des Nanotechnologies de Lyon et *L'Institute for Material Research* de l'Université du Tohoku en 2010 cette fois,
- la préparation de systèmes photovoltaïques oxydes nano-structurés par électrodéposition, une collaboration entre l'Institut de Recherche de Chimie-Paris et le *Toyohashi Institute of Technology* en 2011.

²⁴ Plus d'informations sur <https://lejournal.cnrs.fr/billets/et-si-faisait-planer-le-solaire>

b- Autres projets

La France et la Japon partagent également des projets technologiques impliquant des acteurs industriels et privés. La *New Energy and Industrial Technology Development Organization* (NEDO), qui soutient de nombreux projets hors du Japon, mène par exemple un projet de démonstration de *smart community* à Lyon comprenant notamment un bâtiment nommé *HIKARI* (« lumière » en japonais). Construit par Bouygues Immobilier, *HIKARI* produit plus d'énergie qu'il n'en consomme grâce à des panneaux photovoltaïques, des accumulateurs et des matériaux de stockage de la chaleur contrôlés par un système central de gestion de l'énergie. La NEDO inclut également progressivement à cette *smart community* un système de gestion et de partage de véhicules électriques alimentés grâce à l'énergie photovoltaïque.

On peut également citer le cas de la PME française Ciel et Terre qui a établi des partenariats avec des entreprises japonaises, notamment avec le fabricant de panneaux solaires Kyocera, intéressé par la technologie de panneaux solaires flottants développée par l'entreprise française. Ce partenariat a mené en 2016 à la construction d'une centrale de 13,7 MW sur le réservoir du barrage Yamakura, près de Tokyo, la plus grande de ce type au monde. Plus récemment, en mars 2017, Ciel et Terre a inauguré une centrale solaire flottante de 630kW dans la préfecture de Tokushima.

4- Actions de l'ambassade de France au Japon

L'ambassade de France au Japon organise régulièrement des séminaires afin de rassembler les acteurs français et japonais de la recherche en matière d'énergies renouvelables et d'hydrogène. Les plus récents d'entre eux sont rassemblés dans le tableau 3 ci-dessous. L'ambassade soutient également les workshops réguliers des acteurs franco-japonais de la collaboration, comme cela a par exemple été le cas pour le dernier workshop du LIA NextPV en novembre 2015.

Tableau 4 : Séminaires sur les énergies renouvelables et l'hydrogène organisés par l'ambassade de France au Japon

Date	Sujet	Lieu	Activités	Partenaires
Mai 2012	Hydrogène	Tokyo, Tsukuba, Kyushu	Séminaire, visites d'instituts et d'installations de recherche	Air Liquide
Octobre 2012	Energie géothermique	Tokyo	Workshop	BRGM
Mai 2013	Hydrogène et énergies marines renouvelables	Tokyo	Table ronde, visites	Nantes Just Imagine
Juillet 2013	Energies marines renouvelables	Tokyo	Workshop	UBIFRANCE, DGCIS
Décembre 2016	Production et stockage verts d'hydrogène	Osaka	Séminaire	GdR HySPàC

V- Le cas de l'énergie géothermique au Japon

Le Japon dispose de la troisième réserve mondiale d'énergie géothermique derrière les Etats-Unis et l'Indonésie, estimée aux environs de 24 GW. Cependant, si la production mondiale d'électricité à partir d'énergie géothermique augmente chaque année et a atteint 13,3 GW en janvier 2016, elle stagne au Japon depuis 1995 et était de 533 MW en mars 2016²⁵.

Malgré de formidables possibilités, l'exploitation de l'énergie géothermique au Japon rencontre trois obstacles :

- Le coût de la production d'électricité, deux à trois fois plus élevé que pour le charbon ou le nucléaire ;
- La présence de 80% des ressources exploitables dans des parcs nationaux et aires protégées ;
- L'incertitude quant à l'influence sur la qualité des sources chaudes ou « *onsen* », utilisation historique de l'énergie géothermique au Japon.

Afin de pallier à ces contraintes, le gouvernement japonais a pris ces dernières années et depuis le désastre de 2011 un certain nombre de mesures ciblées. Concernant les coûts de production, le Ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie (METI) a mis en place en 2012 un système d'achat à prix fixe (*feed-in tariff* ou FIT décrit dans le tableau 1 en partie I-1). Depuis 2012, le METI a augmenté la part de budget qu'il alloue à l'énergie géothermique, alors que celui-ci était en baisse depuis le début des années 2000. De 15,05 milliards de yens (124,3 millions d'euros) pour l'année fiscale 2012, il est passé à 23,78 milliards de yens (196,4 millions d'euros) en 2015. Le Ministère japonais de l'environnement a également mis en place en 2012 des mesures de soutien totalisant 1 milliard de yens (8,3 millions d'euros) pour la production d'électricité à partir de sources chaudes.

Si l'exploitation des ressources géothermiques à l'intérieur des parcs nationaux était autorisée dans le passé et a permis la construction de 6 sites, les Ministères japonais de l'environnement (MOE) et du commerce international et de l'industrie (MITI, précurseur du METI) ont signé un accord l'interdisant en 1972. Cependant, en mars 2012, la construction de centrales géothermiques a de nouveau été autorisée dans les parcs nationaux spéciaux de type II et III²⁶ sous conditions d'accord des populations locales et d'impact environnemental minimal. A partir de 2013, le MOE et le METI ont mis en place une conférence non officielle afin de permettre au MOE de déterminer des cas d'excellence pouvant mener à l'exploitation de l'énergie géothermique dans certaines aires spéciales de type I – à condition cependant que les infrastructures se trouvent hors de ces zones. Le Cabinet office adapte ces régulations lors de conférences organisées tous les 3 ans (la dernière s'est déroulée en 2015).

L'énergie géothermique et la chaleur des sources chaudes présentent des similitudes et des différences. Si les deux ont la même origine (eau de pluie chauffée par le magma), les réservoirs géothermiques sont généralement plus profonds et plus chauds que les aquifères des sources chaudes (1000 à 3000 m et 200 à 400°C contre 0 à quelques centaines de mètres et quelques dizaines à 200 degrés Celsius respectivement). Les réservoirs géothermiques se trouvent sous des

²⁵ Selon le [2016 Annual United States and Global Geothermal Power Production Record](#) de la *Geothermal Energy Association* aux Etats-Unis.

²⁶ Système de parcs nationaux au Japon : <https://www.env.go.jp/en/nature/nps/park/doc/files/parksystem.pdf>

roches imperméables, il est possible qu'y prélever de l'eau n'affecte pas les aquifères des sources chaudes, mais l'existence potentielle de relations hydrauliques entre les deux nécessite des études plus poussées et une utilisation responsable des ressources (notamment en limitant les prélèvements et l'injection). En effet, bien que l'énergie géothermique soit renouvelable, il est possible de surexploiter un réservoir, d'où l'utilité de surveiller l'évolution du réservoir.

D'ici à 2050, le Japon prévoit d'augmenter la production d'électricité à partir d'énergie géothermique jusqu'à 2,5 à 3,5 GW, ce qui correspondrait à environ 3% de la consommation estimée en 2050. Cependant, le scénario idéal compte sur une production de près de 12 GW soit une part de l'électricité géothermique dans le mix énergétique japonais supérieure à 10%.

Conclusion

Le Japon et la France (dont la loi sur la transition énergétique²⁷ prévoit de porter la part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie à 23% en 2020 et à 32% en 2030) accordent tous deux une grande importance au développement des énergies renouvelables. Ce développement, bien que porté par les investissements privés dans l'équipement de foyers et dans des projets de génération d'électricité à plus grande échelle, doit s'accompagner d'une recherche fondamentale et appliquée dynamique nécessaire à l'amélioration de l'efficacité et des coûts des énergies renouvelables dans les deux pays.

Le gouvernement japonais soutient activement le développement des énergies renouvelables à l'aide de mesures économiques préférentielles et du financement de projets technologiques et académiques par l'intermédiaire de la JST et de la NEDO. Cela confère au Japon un dynamisme autant dans la recherche académique avec des instituts tels que l'AIST et l'I²CNER que dans la recherche privée avec de grands groupes comme Hitachi et Toshiba. S'il existe des groupements et des structures de recherche communes entre la France et le Japon dans le domaine des matériaux pour l'énergie, les deux pays partagent de nombreuses autres priorités en ce qui concerne les énergies renouvelables.

Parmi les thématiques communes à la France et au Japon, les matériaux pour l'énergie (matériaux magnétiques, semi-conducteurs et supra-conducteurs), l'amélioration des rendements du photovoltaïque (notamment par l'utilisation de nanofils de silicium) et la réduction de ses coûts, l'éolien flottant, la gestion du CO₂ rejeté notamment par l'utilisation de la biomasse, la production de biocarburant à partir de biomasse (algues, eaux usées, déchets urbains) ou encore l'injection de biogaz dans le réseau de gaz existant semblent les plus propices à des collaborations qui bénéficieraient aux deux pays.

²⁷ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/loi-transition-energetique-croissance-verte>