

Les Bioénergies au Japon : Politiques publiques et R&D



Rapport d'étude réalisé par :

Guillaume CHARMIER

*Chargé de Mission pour l'ingénierie,
l'énergie et l'environnement*

Sous la responsabilité de

Pierre DESTRUEL

Attaché pour la Science et la Technologie



AMBASSADE DE FRANCE
AU JAPON

SERVICE POUR LA SCIENCE
ET LA TECHNOLOGIE

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie
4-11-44, Minami Azabu, Minato-ku
Tokyo 106-8514, JAPON
www.ambafrance-jp.org
Contact : adjoint.ing@ambafrance-jp.org

Juin 2012

Remerciements

Ce rapport n'aurait pas vu le jour sans le soutien de nombreux interlocuteurs. Je tiens donc à remercier ici toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

Ce rapport est le fruit de la semaine de rencontre bioénergies qui s'est tenu tout d'abord à l'ambassade de France à Tokyo puis à travers le Japon du 24 au 28 octobre 2011. Il me faut tout d'abord évoquer ici les rencontres intéressantes qui m'ont beaucoup apporté :

Prof. Makoto WATANABE, de l'université de Tsukuba, pour son exposé et son expertise dans le domaine des microalgues,

Prof. Shiro SAKA, de l'université de Kyoto, pour son approche intéressante des fluides supercritiques dans le domaine des bioénergies,

MM. Tomohiro FUJITA, Kengo FUKUI et Hirotaka CHIDA, de l'entreprise Neo Morgan Laboratory, pour leur accueil chaleureux et leur exposé sur leurs recherches innovantes sur les microalgues,

les nombreuses entreprises et centres de recherche qui nous ont ouvert leurs portes durant cette semaine de rencontre, tel **DINS Sakai, Takagi Bakery et l'AIST Chugoku**,

la **NEDO**, pour son aide dans l'organisation de la semaine de rencontre franco-japonaise sur les bioénergies.

Il me paraît aussi important de remercier les participants français, en particulier

Pierre MONSAN, Carole JOUVE et Gérard GOMA sans qui cette semaine n'aurait pu avoir lieu.

Merci aussi à **Eric PERROT** pour sa relecture attentive, à **Maxime LABAT** pour l'aide patiente accordée à chaque fois qu'un problème informatique survenait.

Merci à **Ikuyo MATSUMOTO et Kumiko UEHARA** qui ont contribué à organiser le séminaire, à **Nami TAKAHATA** pour m'avoir supporté malgré mon bavardage incessant.

Je remercie enfin **Pierre DESTRUEL** pour sa relecture attentive de ce rapport et son soutien constant durant la rédaction,

Sans oublier **Florence RIVIERE-BOURHIS**, conseillère pour la Science et la Technologie.

Merci à l'ensemble du personnel de l'ambassade et surtout à Monsieur l'Ambassadeur

Christian MASSET.

Enfin, je remercie aussi tous ceux que je n'ai pas cités, car bien trop nombreux, qui ont contribué à rendre mon travail très agréable.

« *Everything about ethanol is good, good, good.* »

**Chuck Grassley
Sénateur, Parti républicain, Iowa**

Sommaire

1. Avant propos	6
Index des abréviations et unités	7
2. Les bioénergies au Japon, panorama général et politiques publiques	8
2.1. Les bioénergies.....	8
2.2. Le bioéthanol.....	8
2.3. Le biodiesel	9
2.4. Le biogaz.....	10
2.5. Le profil énergétique japonais.....	11
2.6. La politique publique énergétique japonaise.....	12
2.7. Les bioénergies et la politique énergétique japonaise.....	14
2.8. Les instituts de recherche.....	17
2.8.1. La NEDO.....	17
2.8.2. L'AIST.....	18
3. Les projets de recherche	20
3.1. Les biocarburants de la première génération.....	20
3.2. Culture de la biomasse.....	21
3.2.1. Seconde génération	21
3.2.1.1. Projets d'amélioration de la production de biomasse pour le biodiesel.....	21
<i>Jatropha, une espèce indispensable pour le biodiesel</i>	21
3.2.1.2. Projets d'amélioration de la production de biomasse pour le bioéthanol.....	23
3.2.1.3. Projets impliquant une amélioration des conditions de culture de la biomasse.....	24
3.2.2. Troisième génération.....	27
3.3. Production de biocarburants.....	30
3.3.1. Seconde génération.....	30
3.3.1.1. Etude des procédés de saccharafication.....	30
<i>Les matériaux ligneux et le bioéthanol : utilisation et traitement</i>	32
<i>Les liquides ioniques et les biocarburants, une approche novatrice</i>	34
3.3.1.2. La fermentation.....	35
3.3.1.2.1. La voie chimique.....	35
3.3.1.2.2. La voie biologique.....	36
3.3.1.3. Le procédé Fischer-Tropsch et les biocarburants, un axe de recherche qui se développe.....	36
3.3.1.4. Le biodiesel : le cas du laboratoire du professeur Saka.....	39

3.3.2. Les microalgues comme source de biokérosène du futur : l'exemple d'une spin-off innovante, Research Institute of Tsukuba Bio-tech corporation.....	41
3.3.2.1. Les biocarburants et l'aéronautique : une voie encore peu explorée.....	41
3.3.2.2. RITB Corp, une spin-off innovante.....	42
4. Perspectives futures au Japon.....	45
4.1. Les microalgues.....	45
4.1.1. Mise en place du procédé.....	45
4.1.2. Modifications génétiques et moléculaires.....	46
4.2. Le BTL.....	47
4.2.1. Mise au point et amélioration d'un catalyseur.....	47
4.2.2. Amélioration du procédé.....	48
5. Les villes et les biocarburants : une thématique qui s'inscrit dans une vision plus globale de la réorganisation urbaine.....	50
5.1. Les éco-cités du futur.....	50
5.2. Les biomass-towns.....	51
5.2.1. Le concept de biomass-town.....	51
5.2.2. Une biomass-town, Joetsu (Niigata).....	51
5.2.3. Un concept partagé avec ses voisins asiatiques : l'exemple de la Thaïlande.....	52
6. Neo Morgan Laboratory : une entreprise modèle de la recherche sur les bioénergies.....	54
6.1. Neo Morgan Laboratory.....	54
6.2. La technologie de mutagenèse différentielle.....	54
6.3. Applications de la technologie de mutagenèse différentielle à l'obtention de biocarburants.....	55
6.3.1. Les microalgues : le biodiesel.....	55
6.3.2. Le bioéthanol.....	56
6.3.3. Perspectives futures.....	57
7.	
Conclusion.....	58
Index des tableaux.....	59
Index des illustrations.....	60
Glossaire.....	62
Carte du Japon.....	67
Références.....	68

1. Avant propos

En 1997, en signant le protocole de Kyoto, le Japon s'est engagé à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de l'ordre de 6% pour 1998¹. Depuis cette date, cet engagement pour l'environnement n'a jamais faibli. Au contraire il a été renforcé par les décisions prises par le gouvernement à la suite des événements tragiques qui ont frappé le Nord-Est du pays en mars 2011.

Il s'est concrétisé par la volonté, affichée par le Cabinet du premier ministre, de développer les différentes filières des énergies renouvelables, notamment en promouvant la construction de centrales géothermiques, en mettant en place des tarifs avantageux de rachats d'électricité verte, etc.

Le développement de la filière « bioénergies » répond parfaitement à cette volonté, en ceci qu'elle permet la production à la fois d'électricité et de combustible liquide ou gazeux.

Les matières premières de ces bioénergies recouvrent une vaste gamme, allant des ordures ménagères aux copeaux de bois en passant par la paille de riz. Leur avantage principal réside dans le fait qu'elles dégagent le dioxyde de carbone qu'elles ont emmagasiné lors de leur croissance. De ce fait, leur bilan carbone est considéré comme neutre.

L'engagement pris par le Japon se matérialise sous la forme de nombreux projets de recherche menés soit par des instituts de recherche nationaux, soit au sein des universités. Mais cette volonté ne s'arrête pas à la porte des laboratoires. Elle mobilise les collectivités locales via le label de "*biomass-town*" qui est attribué aux villes s'engageant à développer la filière biomasse et à impliquer les citoyens dans cette dynamique.

Les sociétés privées participent à ces actions en créant des pôles manufacturiers expérimentaux de biocarburants ou en incorporant des technologies utilisant les bioénergies dans leur fonctionnement quotidien.

A travers tout l'archipel de nombreuses initiatives naissent et sont supportées par le gouvernement, ce dernier ayant voté le 26 août 2011² une loi visant à promouvoir l'usage des énergies renouvelables, et parmi elles, des bioénergies.

Cet engagement apparaît crucial et déterminant pour l'avenir du Japon à la lumière des événements récents survenus à la centrale de Fukushima Daiichi.

C'est à la suite du 11 mars 2011 que les importations de carburants fossiles et de gaz naturel ont crû de manière significative, augmentant ainsi l'empreinte carbone du pays. De plus le Japon est particulièrement sensible à la fluctuation des prix des énergies fossiles en raison de l'absence quasi-totale de ressources pétrolières et de gaz naturel sur son territoire.

Prenant en compte le risque sismique élevé, ces facteurs ont poussé le gouvernement à réévaluer sa politique énergétique et plus globalement l'importance donnée au nucléaire⁴.

La volonté du Japon de développer la filière « bioénergies » est à rapprocher des initiatives prises par la France dans ce domaine³: des recherches complémentaires existent dans les laboratoires hexagonaux.

Ce rapport a pour objectif de présenter clairement les initiatives gouvernementales, locales et privées dans le domaine des bioénergies ainsi que l'état de la recherche sur les biocarburants au Japon. Le rédacteur espère qu'il sera utile pour développer de fructueuses collaborations entre les deux pays.

*** Les astérisques renvoient au glossaire de la page 77**

Index des abréviations et unités

Mrd	Milliard
M	Million
G	Giga
W	Watt
Wh	Watt par heure
kg	Kilogramme
bp	Paire de bases azotées
l	Litre
gDW	Gramme de matière sèche
J	Joule
Pa	Pascal
t	Tonne
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique

2. Les Bioénergies au Japon, panorama général et politiques publiques

2.1. Les bioénergies

Les activités sur les bioénergies ont commencé il y a une trentaine d'années et sont devenues depuis, l'un des axes majeurs du développement durable. Leur utilisation est parfois sujette à la critique, notamment en ce qui concerne la compétition entre les cultures dédiées à la production de biocarburants et celles vouées à fournir de la nourriture^{5,6}. Ce domaine est cependant en constante croissance à travers le monde.

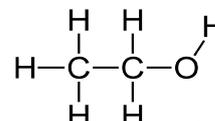
La recherche accompagne ce mouvement, notamment pour la fabrication de carburants à partir de sources végétales non compétitives avec les cultures alimentaires.

Ce mouvement a vu se développer différentes générations de biocarburants :

- **La première génération** utilise des cultures alimentaires. Elle est particulièrement présente au Brésil (bioéthanol issu de la canne à sucre) et aux États-Unis (bioéthanol généré à partir de maïs).
- **La seconde génération** fait usage de cultures ou de biomasse non comestibles, telles la biomasse ligneuse ou les huiles extraites de noix, à l'image du biodiesel généré à partir de la culture de la noix *Jatropha*.
- Enfin, **la troisième génération** est basée sur la préparation de biocarburants à partir de micro ou macro algues.

2.2. Le bioéthanol

L'éthanol (de formule chimique C_2H_5OH) est généré à partir d'un procédé mettant en jeu la fermentation du glucose*.



Le processus de production classique de l'éthanol est constitué de trois étapes successives: tout d'abord une fermentation enzymatique des sucres contenus dans la biomasse, c'est-à-dire que ceux-ci vont être transformés en éthanol, libérant en même temps du dioxyde de carbone et de l'énergie. L'éthanol ainsi obtenu est ensuite distillé pour retirer la plus grande partie de l'eau de ce mélange azéotrope*. Enfin, l'étape finale de déshydratation va avoir pour conséquence de retirer toute l'eau résiduelle.

La production d'éthanol d'origine ligneuse⁷ diffère du procédé décrit ci-dessus par différents aspects. Il est d'abord nécessaire de réduire la biomasse ligneuse (bois, végétaux) sous forme de copeaux afin de faciliter l'étape de pré-traitement suivante. La paroi pectocellulosique (composée en partie de lignine*) qui protège les molécules de cellulose et d'hémicellulose, doit être détruite par voie chimique, mécanique ou bactérienne. Une hydrolyse par voie enzymatique (via des endocellulases, puis des exocellulases) permet enfin de casser la structure des polymères cellulosiques et de générer des monomères de glucose qui sont ensuite sujets à la fermentation alcoolique.

La suite du procédé est analogue à la génération classique d'éthanol.

En 2009, la production mondiale de bioéthanol était de 73,8 milliards de litres par an⁸. Les États-Unis et le Brésil⁸ sont les principaux producteurs mondiaux. Quant à la France et le Japon, leur production est plus modeste. Il est à noter que la consommation japonaise de 420 millions de litres^{9,10} par an excède la capacité de production du pays. Le pays importe la différence de l'étranger, pour l'essentiel du Brésil (tableau 1).

Pays	États-Unis	Brésil	France	Japon
Production (Mrd/l)	40,1	24,9	1,25	0,1134
% de la production mondiale	54,3	33,7	1,70	0,15

Tableau 1 : Principaux pays producteurs de bioéthanol

Il apparaît clairement que les États Unis et le Brésil dominent largement le marché mondial, cependant ces deux pays diffèrent de par la nature de la biomasse utilisée : si aux États-Unis le maïs prédomine, c'est la canne à sucre qui est à l'origine de la grande majorité du bioéthanol brésilien. La France produit une grande partie de son bioéthanol à partir de la betterave sucrière, riche en glucose^{11,12}.

L'utilisation de biocarburants devrait augmenter au cours des 2 prochaines décennies, pour atteindre plus de 4 fois le volume de production annuel d'ici à 2035¹³. La production de bioéthanol devrait continuer à croître, notamment aux États Unis¹⁴, et atteindre jusqu'à 100 Mrd de litres par an en 2015⁸.

2.3. Le biodiesel

Produire du biodiesel n'est pas une idée nouvelle puisque c'est depuis l'invention du moteur Diesel en 1897 qu'il est évoqué comme carburant potentiel¹⁵. Il s'agit un biocarburant provenant majoritairement de la transésterification des huiles végétales¹⁶ (telles que la noix de *Jatropha*) ou minoritairement d'huiles animales.

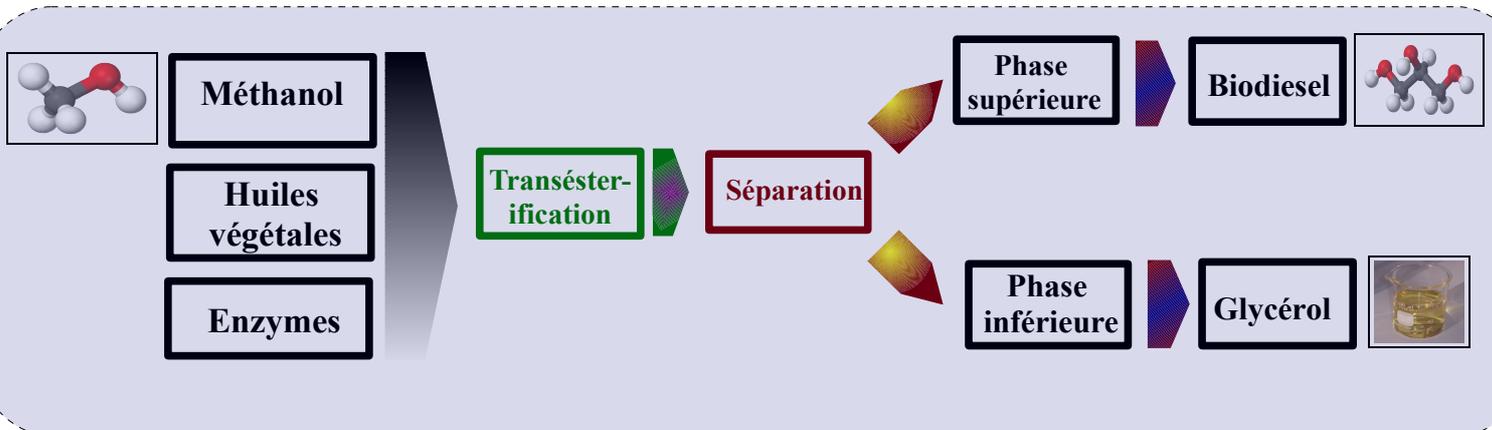


Figure 1 : Schéma général du procédé d'obtention du biodiesel

La transésterification (figure 1) est un procédé chimique qui met en jeu les huiles mentionnées précédemment et un alcool sous la forme d'éthanol (ou de méthanol). La réaction entre ces deux molécules permet d'obtenir de l'ester éthylique (ou méthylique), qui est le constituant principal du biodiesel^{17,18}. Ce dernier se présente donc sous la forme d'un ester allylique*.

La production mondiale de biodiesel est de 17 Mrd de litres par an²⁰. L'Allemagne est le pays leader à la fois pour la production (avec 2,8 Mrd/an¹⁹, soit 16,4% de la production mondiale) et pour la recherche appliquée au biodiesel.

La France maintient une présence plus importante sur le marché du biodiesel que sur celui du bioéthanol (2,2 Mrd/an, -12,9%). Le Japon est, quant à lui, en retrait par rapport à la production européenne, avec 20 Ml/an (soit 0,1%).

Comme pour le bioéthanol, il est à noter qu'il est prévu une forte croissance de l'utilisation de biocarburants durant les 2 prochaines décennies²¹. La production de biodiesel devrait continuer sa progression, particulièrement en Amérique du Sud, mais elle devrait marquer un ralentissement dans les pays de l'union européenne.

2.4. Le biogaz

Le biogaz est issu de la méthanisation de matières organiques (tels que les déchets alimentaires ou les boues de station d'épuration). Il est produit par leur dégradation par des micro-organismes en absence d'oxygène. Il s'agit donc d'une digestion anaérobie.

Ce processus de méthanisation voit plusieurs étapes se succéder²²: tout d'abord l'hydrolyse décompose les molécules plus importantes en blocs solubles via des bactéries hydrolytiques*. Celles-ci sont ensuite transformées en acides lors de l'acidogénèse, puis les bactéries acétogènes* vont générer des molécules d'acétate et de dihydrogène. Enfin, les bactéries méthanogènes transforment l'acétate en méthane.

Les molécules de bicarbonate générées parallèlement à l'acidogénèse sont transformées en méthane par un deuxième type de bactéries méthanogènes.

Le biogaz se présente en général sous la forme d'un mélange composé majoritairement de méthane²³. Le tableau 2 donne sa composition suivant les différentes sources dont il est issu.

Composants (% volumique)	Ordures ménagères	Boues provenant de stations d'épuration	Déchets agricoles	Déchets de industriels
CH ₄	50-60	60-75	60-75	68
CO ₂	38-34	33-19	33-19	26
N ₂	5-0	1-0	1-0	-
O ₂	1-0	< 0,5	< 0,5	-
H ₂ O	6 (à 40°C)	6 (à 40°C)	6 (à 40°C)	6 (à 40°C)
Total	100	100	100	100

Tableau 2 : Variations de la composition du biogaz en fonction de son origine

Dans ce domaine, comme pour le biodiesel, l'Allemagne est le leader mondial^{24,26} autant pour la recherche que pour la production. En effet, avec une production de biogaz estimée à 14,8 TWh/an, le pays est loin devant la France qui ne génère que 3,6 TWh/an grâce au biogaz²⁵. Quant au Japon, il est distancé par l'Europe puisqu'il ne génère que 80 millions de kWh/an. Le biogaz est une ressource encore peu exploitée, en particulier le biogaz issu des déchets, qui devrait être un des axes majeurs de développement de cette énergie dans le monde²⁷.

2.5. Le profil énergétique japonais

Sources d'énergie primaire au Japon

■ Pétrole [46%] ■ Charbon [21%] ■ Gaz naturel [17%]
■ Nucléaire (11%) ■ Hydroélectricité [3%] ■ Autres renouvelables [1%]



Figure 2 : Sources d'énergie primaire au Japon

Le Japon présente un bouquet énergétique^{28,29} très marqué par l'utilisation des énergies fossiles, puisque qu'elles représentent respectivement 84 % et 60,3 % des apports d'énergie primaire et d'électricité de l'archipel. Ces données sont à comparer avec la situation française, où les énergies fossiles représentent³⁰ 52,5 % des apports d'énergie primaire et 10,79 % de la production d'électricité (chiffres dus à la forte part du nucléaire).

Production d'électricité au Japon

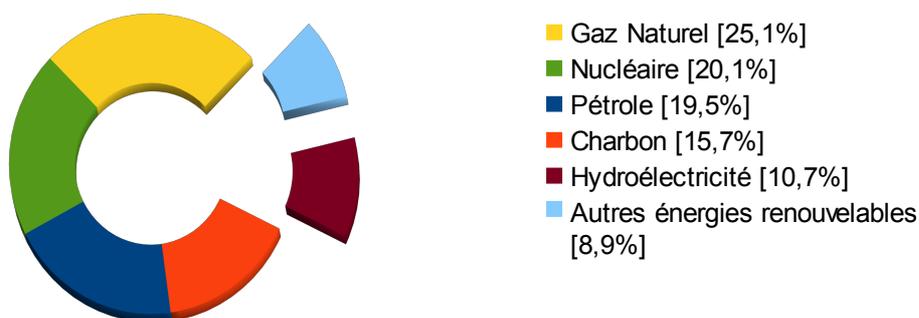


Figure 3 : Production d'électricité au Japon

2.6. La politique publique énergétique japonaise

La politique énergétique japonaises est organisée par le ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie³¹ (METI) en accord avec les autres ministères. Cependant ses décisions politiques sont prises en concertation avec les autres parties du « triangle de fer » représenté ci-dessous (figure 4).

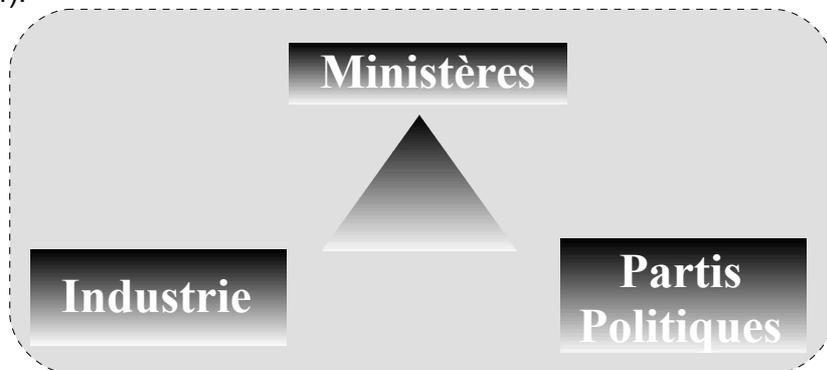


Figure 4: Schéma du triangle de fer

La politique énergétique japonaise a brutalement changé à la suite du choc pétrolier de 1973. Connu au préalable pour être un « paradis pollueur », comme l'illustre notamment l'affaire de Minamata³² (pollution industrielle au mercure ayant donné son nom à la maladie éponyme), le Japon a connu en 1973 un tournant majeur : le pays a alors décidé d'axer sa politique énergétique sur la sécurité. Cette décision a renforcé et accéléré l'accent mis sur l'énergie nucléaire. Les énergies renouvelables, si elles ne sont pas oubliées lors de l'élaboration de la politique énergétique de l'archipel, ne sont pas aujourd'hui une priorité comme l'indique l'indice d'attractivité pour les énergies renouvelables établi par le cabinet de consultant Ernst & Young³³ (où le Japon pointe à la 23^{ème} place sur 38). Il faut en effet comprendre que la mise en place d'une politique efficace d'énergies renouvelables se heurte à différents obstacles³⁴ :

- **L'existence de groupes d'intérêts** favorisant une énergie renouvelable particulière. Ils se retrouvent au sein de chaque acteur du triangle de fer. Or ces groupes n'ont pas le même poids décisionnel. Ceci entraîne une inégalité de traitement des différentes énergies. Certaines en ont pâti, à l'instar de l'éolien même si ce dernier connaît actuellement un regain d'intérêt.
- **La réticence des opérateurs électriques** à l'établissement d'un Feed-in-tariff* qui permettrait un développement plus rapide des énergies renouvelables.
- **Une politique de réduction des émissions des gaz à effet de serre basée sur le volontariat** qui freine en partie le développement des énergies renouvelables.
- **Des conflits interministériels** entre le METI et le ministère de l'environnement sur les énergies renouvelables.
- **L'accent mis sur l'amélioration technologique** plutôt que sur un changement structurel qui permettrait un développement plus important des énergies renouvelables.

Malgré ces points négatifs, il ne faut pas sous-estimer l'influence et la portée que les événements de mars 2011 ont eu sur la politique énergétique japonaise, tout particulièrement la catastrophe nucléaire de Fukushima. De nombreux projets d'installation de champs éoliens offshore et de méga centrales solaires ont été lancés, ainsi qu'un programme de recherche ambitieux sur les bioénergies, explorant des thématiques originales.

Comme il a été évoqué précédemment, le programme de recherche japonais dans le domaine de l'énergie et plus globalement la politique énergétique ont longtemps été marqués par un axe majeur : le nucléaire. Ce dernier s'imposait encore lors du dernier plan énergétique stratégique japonais révisé en juin 2010, puisque la part du nucléaire dans la production énergétique nationale devait atteindre la valeur de 50% en 2030. Cette accroissement de la part du nucléaire aurait dû se traduire par un investissement de 5,6 trillions de yens (soit 54 milliards d'euros) sur 20 ans. L'un des axes de cet investissement résidait en la construction de 14 nouvelles centrales nucléaires.

Or la catastrophe du printemps 2011 qui a eu lieu sur le site de la centrale nucléaire de Fukushima a fortement remis en cause cette orientation.

2.7. Les bioénergies et la politique énergétique

japonaise

D'autres sources énergétiques que le nucléaire ont été considérées, à l'instar des bioénergies. Le pays s'est appliqué dès 2011 à augmenter la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique national, en diminuant la part du nucléaire et des énergies fossiles³⁵.

Prenons l'exemple du projet Monju, qui consiste en la construction d'un réacteur de quatrième génération à neutrons rapides utilisant du sodium. Il constituait un des axes de la recherche nucléaire japonaise. Il est en train d'être reconsidéré puisque les fonds dédiés à l'atome et notamment à ce projet ont été fortement réduits par le gouvernement^{36,37}.

La révision du plan d'action énergétique national de juin 2010 prévoyait déjà un investissement de 13,6 trillions de yens (soit 132 milliards d'euros) d'ici à 2030 dans le domaine des biocarburants et de l'amélioration de l'efficacité de consommation des voitures à essence.

Les nouvelles orientations énergétiques du gouvernement japonais, décidées à l'été 2011 et concernant les énergies renouvelables sont les suivantes :

- **Augmenter la part des énergies renouvelables via la mise en place d'un système de rachat de l'électricité provenant de sources renouvelables, notamment chez les particuliers et dans les entreprises³⁵,**
- **accélérer la mise en place de systèmes de cogénération³⁵,**
- **mettre en place des communautés intelligentes³⁵.**

Elles se développent grâce à l'action d'agences de recherche telles que la NEDO pilotées par l'action conjuguée de 4 ministères japonais (Ministère de l'environnement, MAFF*, METI*, ainsi que le MEXT*).

Il est vrai que le Japon ne dispose pas des ressources nécessaires à l'établissement d'une filière de production de biocarburants de 1^{ère} génération qui répondrait à la demande énergétique du pays. En effet, il a été calculé que l'apport maximal de cette filière s'élève au maximum à 1 million de tonnes par an, soit la quantité nécessaire à l'obtention de 1 à 2% de mélange éthanol-essence. Il s'agit donc d'une ressource limitée et insuffisante.

Il apparaît alors nécessaire que l'archipel déploie une politique de recherche efficace afin de générer des biocarburants de 2^{ème} et 3^{ème} génération. Le MAFF estime à 6,5 milliards de litres par an la capacité totale de production en bioéthanol du pays si les avancées technologiques nécessaires sont réalisées³⁶. Environ 80% de cette production serait issue d'éthanol ligneux. On comprend alors la nécessité d'adopter une importante politique de recherche dans ce domaine. En 2010, l'utilisation de la biomasse se répartissait comme suit (tableau 3) :

Type de biomasse	Quantité (million de tonnes/an)	Utilisation actuelle
Biomasse résiduelle		
Déchets d'origine animale	91	80 % comme fertilisant
Déchets alimentaires	22	< 10 % comme fertilisant
Déchets papier	14	-
Liqueur noire	14	~ 100 % comme source d'énergie
Boues d'épuration	76	40 % comme déchet d'enfouissement 60 % comme matériel de construction ou fertilisant
Résidus des scieries	6	90 % comme source d'énergie et fertilisant
Déchets de construction	5	40 % comme papier ou carton
Biomasse inexploitée		
Résidus forestiers	4	-
Paille de riz, etc.	13	30 % comme compost, etc

Tableau 3 : Origine des différents types de biomasse dans l'archipel

En 2002, le MAFF^{39,40} a mis en place une stratégie de promotion de la biomasse intitulée « *Biomass Nippon Strategy* ». Elle a pour but d'utiliser 80 % de la biomasse résiduelle et 25 % de la biomasse inexploitée d'ici à 2020. Elle repose sur les points suivants³⁸ :

- Lutter contre le réchauffement climatique,
- mettre en place une société où le recyclage est une pratique courante,
- entretenir les industries stratégiques,
- revitaliser les communautés rurales.

En 2006, cette stratégie a été réévaluée et la « *New Biomass Nippon Strategy* » a vu le jour. Elle intègre la promotion de l'utilisation des biocarburants et l'accélération de l'instauration des « *biomass-towns* ».

En 2009, cette stratégie a été renforcée et institutionnalisée par la promulgation de la « *Loi Fondamentale promouvant l'utilisation par la biomasse* ». Cette dernière est axée sur les deux objectifs suivants :

Tout d'abord mettre en place une politique fondamentale de promotion de la biomasse via l'action des villes et préfectures, notamment via la promotion du label « *biomass-town* ». Ce label est attribué à des villes et villages qui s'engagent à intégrer l'usage de la biomasse (sous forme de déchets agricoles ou ménagers par exemple) dans le fonctionnement de la collectivité.

Le second objectif de la loi vise à instaurer une politique financière, fiscale et économique de promotion de la biomasse.

Différentes lois allant dans la même direction ont été promulguées, à l'instar de la *Taxe sur le Contrôle de la Qualité de l'Essence et des Autres Carburants (2008)*. Cette taxe, qui représente en moyenne 53,8 yens par litre (0,53 euros) pour l'essence ordinaire, est abaissée à 1,3 yens par litre dans le cas d'un biocarburant (L'essence E3 qui ne contient que 3 % de bioéthanol, bénéficie de cet avantage fiscal). Cette mesure crée ainsi une forte incitation à la consommation de biocarburants. Elle demeure effective jusqu'au 31 mars 2013.

En 2009 le gouvernement a renforcé le portefeuille législatif dans le domaine des bioénergies avec la *“Loi relative à la promotion de l'utilisation des énergies non fossiles et l'utilisation intelligente et efficace des énergies fossiles par les fournisseurs d'énergie”*⁴¹. Cette loi oblige les fournisseurs d'électricité et d'essence à utiliser du biogaz et des biocarburants.

Enfin, le Japon investit dans le développement d'infrastructures de production de biocarburants à l'étranger, tel l'entreprise Marubeni⁴² en Angola. Cette action n'a pas pour but de fournir l'archipel en bioéthanol, mais de développer de manière conséquente les bioénergies en Angola via la construction d'une raffinerie de sucre à canne d'une capacité annuelle de 40 millions de litres de bioéthanol. De plus, cette installation permettra à l'Angola de devenir indépendant des importations de sucres extérieures au pays, puisque préalablement à l'installation de cette raffinerie, le pays devait importer le sucre qu'il consommait.

2.8. Les instituts de recherche japonais

2.8.1. La NEDO



Agence gouvernementale sous la responsabilité du METI*, la NEDO (**New Energy and Industrial Technology Development Organization**, 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 *Dokuritsu Gyōseihojin Shinenergī Sangyō Gijūtsu Sōgō Kaihatsukikō*) centre ses activités de recherche sur les énergies renouvelables⁴³.

Elle est dotée d'un budget de 151,2 milliards de yens (soit 1,5 milliards d'euros), dont 67,4 milliards (670 millions d'euros) sont consacrés à la recherche sur les énergies, et 3,8 milliards (38 millions d'euros) à la recherche environnementale.

Si la NEDO possède des centres de recherches consacrés aux énergies renouvelables, son action se concentre surtout sur le financement de recherches originales, quelles soient de nature académiques ou industrielles (figure 5).



By promoting R&D through the concept of “Selecting and Focusing” and conducting agile project review based on objective evaluations under its Plan-Do-See (PDS) approach, the efficacy of project promotion is increased and the results are widely disseminated throughout society.



2.8.2. L'AIST



Institut de recherche fondé en 2001 par la fusion de quinze centres de recherche nationaux, l'AIST est établi dans tout l'archipel. Il est issu d'une lignée d'établissements créés en 1882, et possède une forte culture de coopération avec le monde de l'industrie. Il est directement sous la responsabilité du METI.

Avec 2300 chercheurs et un budget de 81 milliards de yens (soit 810 millions d'euros, ¼ du budget du CNRS) il représente un pôle majeur de la recherche japonaise.

Présidé par le Dr. Namakuchi depuis 2009, l'AIST a choisi de focaliser la recherche dans les domaines du vivant et de l'écologie, dans le cadre du programme "solutions pour les problèmes du XXIème siècle". L'institut est considéré comme un des meilleurs centres de recherche de l'archipel, tout particulièrement pour les sciences naturelles que sont la physique, la chimie et les matériaux, domaines pour lesquels l'institut est classé dans les cinq premiers au Japon et dans les vingt premiers dans le monde (6ème en sciences des matériaux et 13ème en chimie).

La recherche est répartie en différents domaines (figure 6).

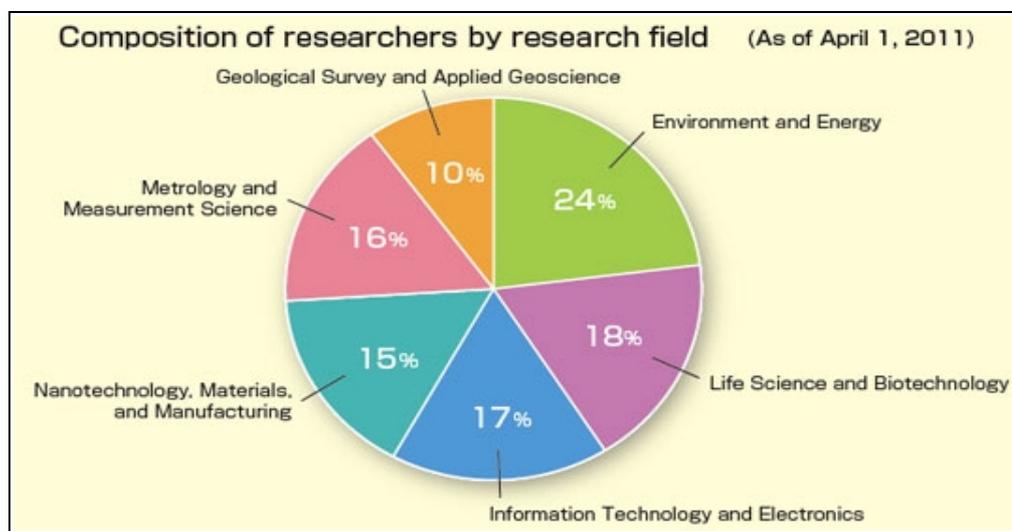


Figure 6 : Répartition des chercheurs de l'AIST par discipline

Deux centres de recherche se distinguent particulièrement pour tout ce qui relève du domaine des bioénergies :

- Le centre de recherche principal situé à Tsukuba, à 60 kilomètres au nord de Tokyo
- L'AIST Biomass Technology Research Center à Hiroshima

Ces laboratoires organisent leur recherche sur les bioénergies en groupant les différents projets selon des axes transversaux, de l'amélioration des techniques de récolte de la biomasse ligneuse aux techniques de valorisation.

C'est suivant cette logique que seront présentés les différents projets de recherche dans ce rapport. Ceux-ci sont menés dans des centres propres aux agences, mais aussi au sein d'universités qui sont elle-même en coopération avec des acteurs privés.

Ainsi le ministère de l'agriculture développe de nombreux partenariats avec des coopératives agricoles : les subventions accordées permettent de financer jusqu'à 50 % des coûts liés à la construction d'exploitations agricoles dans le but de produire de la biomasse pour biocarburants⁴⁴.

Deux exploitations ont ainsi pu être établies sur l'île septentrionale d'Hokkaidō, à Tomakomai (en partenariat avec le brasseur Oenon Holdings) et à Shimizucho (en partenariat avec une fédération de coopératives agricoles insulaires Hokuren). La coopérative agricole Ja Zen-Nō, à Niigata (Centre-ouest du pays, sur la mer du Japon), abrite aussi une exploitation de démonstration. Cette dernière présente la particularité de cultiver un riz développé spécialement pour la production de bioéthanol, puisqu'il a un rendement de 800 kg/1000 m², soit près du double de la valeur habituelle.

3. Les projets de recherche

3.1. Les biocarburants de première génération

Il apparaît important de préciser que le Japon ne possède pas sur son sol d'exploitations agricoles importantes lui permettant de développer une filière de production de biocarburants de première génération, et ce pour des raisons diverses. La première d'entre elles est liée à la nature du territoire japonais, occupé à 67% par des forêts et des montagnes⁴⁵, qui sont des terrains difficiles à mettre en valeur. Cependant, le Japon a développé une recherche conséquente dans le domaine des biocarburants de première génération, ne serait-ce qu'en raison de la présence de nombreuses entreprises issues de l'archipel en Asie du Sud-Est.

Le Japon investit dans la recherche sur le bioéthanol au Brésil⁴⁶, pays d'où provient la majeure partie du bioéthanol utilisé au Japon⁴⁷. Cet investissement s'est concrétisé par la création de la société Brazil-Japan Ethanol Co⁴⁸, qui a pour but de développer un partenariat entre le Japon et le Brésil dans le domaine de la recherche sur le bioéthanol.

3.2. Culture de la biomasse

Les projets de recherche de la NEDO doivent être compris dans une vision globale de la recherche, de la production/récupération de biomasse à la valorisation du biocarburant. Chacun des projets présentés par la suite doit être considéré dans une logique transversale dans laquelle il est associé à un ou plusieurs autres projets de traitement de la biomasse (figure 7).

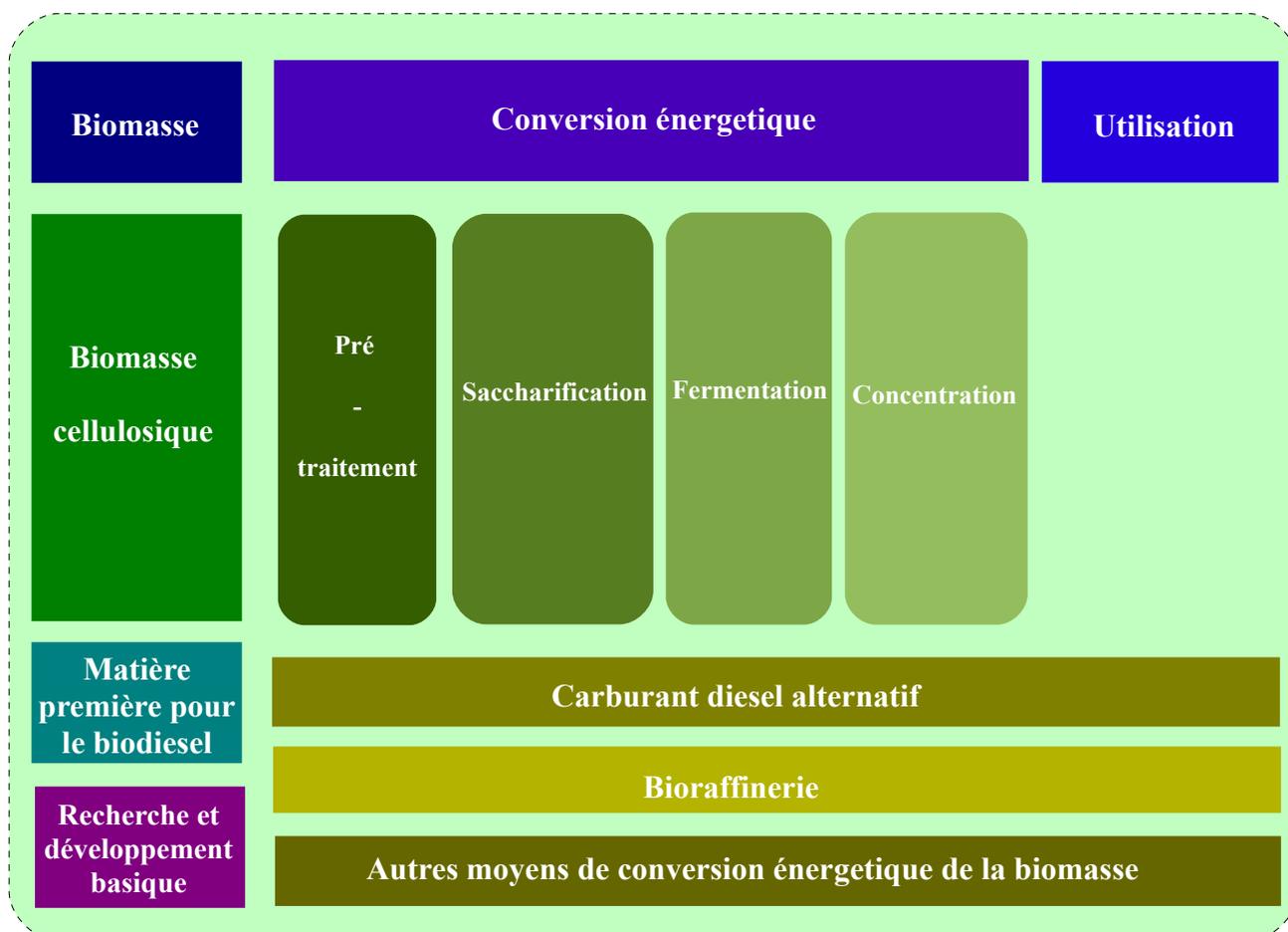


Figure 7 : Domaines de recherche de la NEDO

3.2.1. Seconde génération

3.2.1.1. Projets d'amélioration de la production de biomasse pour le biodiesel

Jatropha, une espèce indispensable au biodiesel

De nombreux projets sont basés sur la production de biodiesel à partir d'une noix, la *Jatropha*. Cultivée en milieu tropical, tout particulièrement en Indonésie, *Jatropha curcas* L. pousse sur des arbres de taille moyenne (2 à 5 mètres) et présente une quantité d'huile de 30-35 %. Son rendement surfacique est assez élevé (1 à 1,5 tonne par hectare), bien supérieur aux valeurs associées au tournesol et au maïs, ce qui explique son utilisation importante. *Jatropha* peut en outre être cultivée avec d'autres plantes comme des palmiers ou des arbres fruitiers, qui la protègent du bétail et lui confèrent une phyto-protection contre les pathogènes^{49,50}.

De plus, sa résistance à la sécheresse et aux fortes températures ainsi que sa croissance rapide (récolte possible après un an de culture) et la relative faible énergie nécessaire à la production de biocarburant confèrent à *Jatropha* un statut privilégié.

Néanmoins, *Jatropha* possède certaines caractéristiques qui la rendent vulnérable. Au nombre de celles-ci figurent sa faible résistance au gel, une production de graines amoindrie en cas de sécheresse ainsi qu'une forte toxicité. Ces caractéristiques sont l'objet de nombreuses études (dont certaines seront présentées ci-après) visant à pallier leurs inconvénients.



Figure 8 : Noix de *Jatropha*

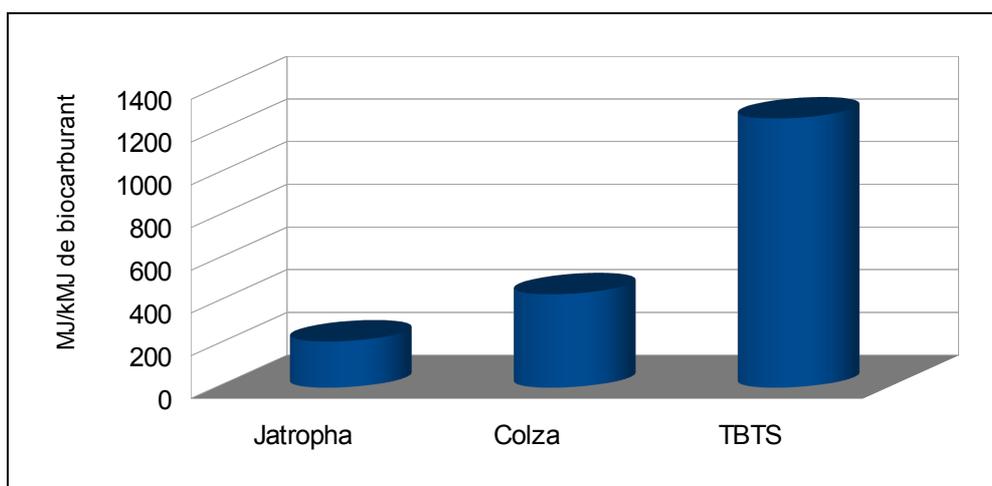


Figure 9 : Energie nécessaire pour la production de biodiesel

Un des projets internationaux particulièrement intéressant réside dans la collaboration développée entre différentes universités japonaises, la NEDO et des partenaires Botswanais. Il a pour but l'optimisation du procédé de production d'huile à partir de *Jatropha* à travers les étapes suivantes :

1. Une amélioration de la production de lipides de *Jatropha* via l'ingénierie génétique des plastides*.
2. Un profilage métabolique et une modification des lipides issus des graines de *Jatropha*.
3. Le développement de techniques d'amélioration de production et d'évaluation sur le terrain des graines de *Jatropha*.

Les résultats de cette étude se sont déjà avérés positifs puisque, comme le montre le tableau suivant, tous les indicateurs permettant de juger de l'efficacité de la souche de *Jatropha* créée ont progressé⁵¹ :

	Nombre d'arbres	Nombre de noix par arbre	Nombre de graines par noix	Poids total des graines (gDW par arbre)	Poids des graines (gDW par fruit)	Taux de fertilité (%)
Jeunes plantes (2009)	50	9,6	24,7	11,5	0,410	86,9
Arbres sélectionnés (2011)	13	10,2	27,2	16,9	0,622	89,4

Tableau 4 : Evaluation des souches modifiées

La prochaine étape du projet consiste en la culture à grande échelle des arbres de *Jatropha*. Cette étape s'accomplira dans le cadre du programme SATREPS⁵² au niveau de plantations au Botswana, en collaboration avec les autorités locales^{53,54}. Cependant, comme cela a déjà été mentionné précédemment, différents problèmes ont été rencontrés lors de tests de terrains, au nombre desquelles figure la résistance au gel. Afin de pallier ces problèmes, les points suivants ont été envisagés :

- Optimisation du procédé agricole,
- sélection et culture de lignées germinales* adaptées au terrain,
- production à échelle limitée et évaluation du biodiesel,
- établissement de protocoles pour l'utilisation de sous-produits de la culture de *Jatropha* ,
- étude des impacts sociaux-environnementaux de la culture de *Jatropha* au Botswana.

La première récolte de *Jatropha* issue de cette nouvelle étape est prévue pour 2014⁵⁴.

Un second projet financé par la NEDO a pour objectif de développer des arbres de *Jatropha* présentant une résistance accrue à la sécheresse⁵⁵. Conduit en partenariat entre l'université d'Osaka et l'université Los Baños aux Philippines, ce projet associe deux démarches menées en parallèle dans chacun de ces établissements :

- La première, qui se déroule à Osaka, consiste en la modification génétique des arbres de *Jatropha* afin de les rendre plus résistants à la sécheresse. Le génome de ce dernier ayant été entièrement séquencé⁵⁶, les recherches en sont grandement facilitées. Cette modification génétique comprend l'introduction du gène NF-YB* au sein du gène PPAT⁵⁷ *. Le gène NF-YB, codant pour la protéine du même nom, est lié à une résistance accrue à la sécheresse⁵⁸. Cette manipulation génétique a pu être réalisée via l'emploi d'*agrobacterium** et vérifiée par PCR*. Finalement, des tests de croissance ont été menés avec succès sous isolation et dans des serres, par la compagnie Sumitomo Electric Industries.
- La seconde démarche conduite en parallèle aux Philippines consiste en la sélection de variétés indigènes (non modifiées génétiquement) d'arbres de *Jatropha* résistants à la sécheresse.

Ayant obtenu l'accord des autorités philippines pour le transfert et la culture des arbres de *Jatropha* modifiés génétiquement, les souches ont été transférées en décembre 2011. La culture devrait commencer aux Philippines courant 2012 afin d'évaluer la croissance des plants de *Jatropha* modifiés dans les conditions naturelles de culture.

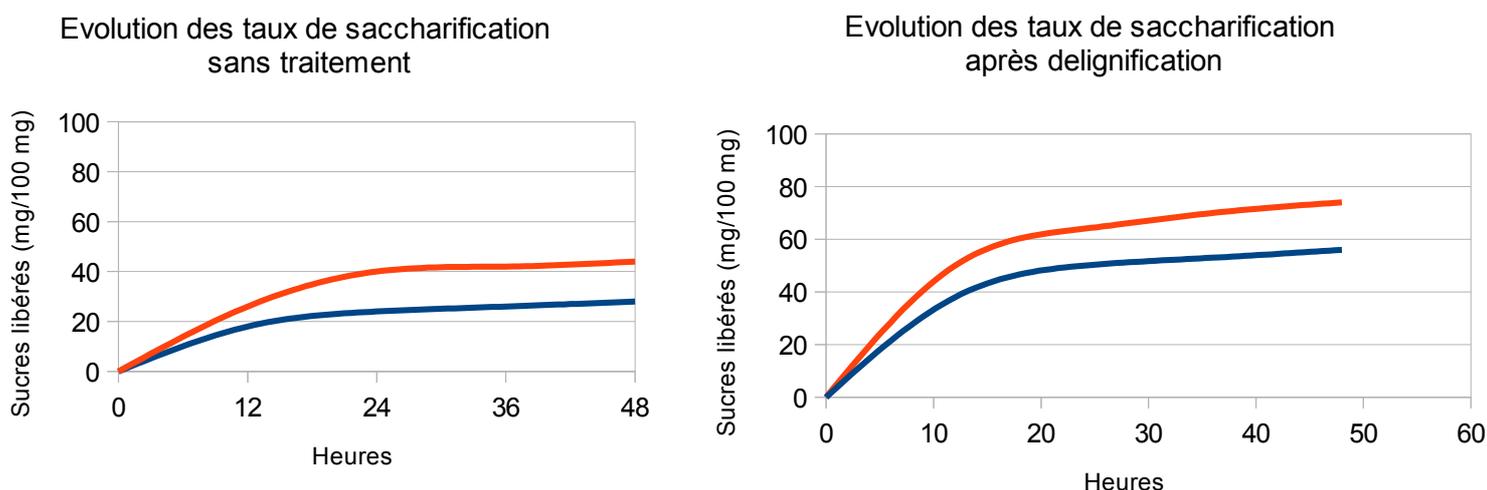
3.2.1.2. Projets d'amélioration de la production de biomasse pour le bioéthanol

Le premier projet de cette catégorie se base sur de précédentes recherches accomplies par l'équipe du professeur Kaida⁵⁹ de l'université de Kyoto. Elles avaient pour but l'étude du procédé de saccharification d'une espèce d'Acacia, *Acacia mangium* via obtention d'une espèce transgénique. Ces recherches ont permis de montrer que l'espèce transgénique obtenue sur-exprime une enzyme, la xyloglucanase, catalysant une saccharification (et donc une production de bioéthanol) bien plus efficace.

C'est en constatant que la croissance des arbres est bien plus importante dans les zones géographiques situées au niveau de l'équateur, (de l'ordre de 5 à 10 fois supérieure à celle observée au niveau des latitudes tempérées comme au Japon ou en Europe) que le projet a été construit.

Il s'agit de développer une espèce transgénique d'arbre tropical (*Falcataria*), en se basant sur les recherches précédemment évoquées et de planter ces arbres en zone équatoriale afin de profiter d'une croissance plus rapide et donc de produire plus.

L'avancement du projet⁶⁰ est satisfaisant : Deux gènes identifiés par l'étude du professeur Kaida ont été introduits dans le génome du peuplier, AaXEG et BsXYL. Les études des niveaux de saccharification* et de production d'éthanol des souches transgéniques ont donné des résultats intéressants (la saccharification est améliorée de 57 % et 52 % pour chacun des gènes). Trois souches ont été créées à partir de ces gènes : BsXYL, AaXEG et BsXYL + AaXEG et introduites dans le *Falcataria*. Le graphique suivant rend compte de l'amélioration des taux de saccharification.



Souche transgénique
 Souche naturelle

Tableaux 5&6 : Evolution des taux de saccharification suivant les différents traitements

Actuellement, les responsables du projet sont à la recherche d'un lieu adéquat pour l'implantation de cultures à grande échelle de *Falcataria*. Le choix se porterait sur la province de Java Central en Indonésie, où 30 000 hectares seraient cultivés. D'autres cultures agroforestières seraient produites sur les mêmes terres que *Falcataria*, afin d'éviter les monocultures et de limiter les effets des fluctuations des prix. Des cultures expérimentales sont en cours sur place.

Un second projet, qui s'intègre dans un procédé de production de bioéthanol, est conduit par une collaboration entre quatre partenaires⁶¹ académiques. Ce projet se base, comme de nombreux autres, sur une modification génétique des plantes⁶² ainsi que sur des travaux précédemment effectués sur le même thème^{63,64}, à savoir la dégradation bactérienne de la lignine* présente dans la paroi cellulaire.

Le but du projet⁶⁵ est tout d'abord d'identifier et de cloner les gènes de la bactérie *Sphingobium sp.* SYK-6 contrôlant la dégradation de la lignine. Cette bactérie agit à la fois sur les monomères précurseurs de monolignol (présents dans le noyau cellulaire) et sur les dimères de lignine (présents dans la paroi cellulaire). Une fois ces gènes identifiés, ceux-ci seront transférés sur *Arabidopsis thaliana*, qui deviendra alors capable de dégrader la lignine plus efficacement.

Afin d'atteindre cet objectif, les dimères de lignine ont tout d'abord été synthétisés (ils ne sont pas disponibles dans le commerce), puis un gène responsable de la dégradation a pu être isolé et transféré sur *Arabidopsis thaliana* avec succès.

Le projet s'oriente maintenant vers l'étude du procédé de dégradation de la lignine par *Arabidopsis thaliana* modifié.

Un dernier projet sur le thème du bioéthanol a été conduit avec succès par l'université de Kyoto. Il utilise un riz modifié génétiquement comme biomasse⁶⁶ pour produire plus de lignine*. Se basant sur des recherches récentes⁶⁷, le taux de lignine a pu être déterminé facilement tout au long de l'étude, facilitant grandement le travail des chercheurs. Cinq souches différentes de riz ont été obtenues avec des taux de lignine de 24 % à 26,3 % supérieurs à ceux des souches naturelles. Parmi elles une seule souche modifiée présentait un taux de lignine inférieur à l'objectif d'augmentation de 25 % fixé par les chercheurs.

3.2.1.3. Projets impliquant une amélioration des conditions de culture de la biomasse

Deux études financées par la NEDO ont pour objectif une meilleure culture de la biomasse, notamment les arbres en milieu semi-aride.

1) La première de ces études, part d'un constat simple : dans les conditions actuelles un terrain semi-aride typique produit 0,1 tonne d'équivalent carbone par hectare par an. Le projet présente deux volets dans l'amélioration de ce rendement :

a. Le premier consiste à perfectionner les techniques de boisement d'espèces déjà adaptées à des milieux difficiles (acacias, saules, eucalyptus). Le procédé implique une amélioration des techniques d'irrigation et de plantage des arbres. Ceci mènerait ainsi à une augmentation du rendement de 0,5 tonne d'équivalent carbone par an^{68,69}.

b. Le second volet de ce projet a pour objectif l'introduction d'arbres modifiés génétiquement en lieu et place des arbres cultivés habituellement. Ceci permettrait d'atteindre un rendement de 2 tonnes d'équivalent carbone par hectare par an, via une tolérance accrue au stress de la sécheresse.

Le graphique suivant rend compte des différents rendements suivant les améliorations présentées ci-dessus :

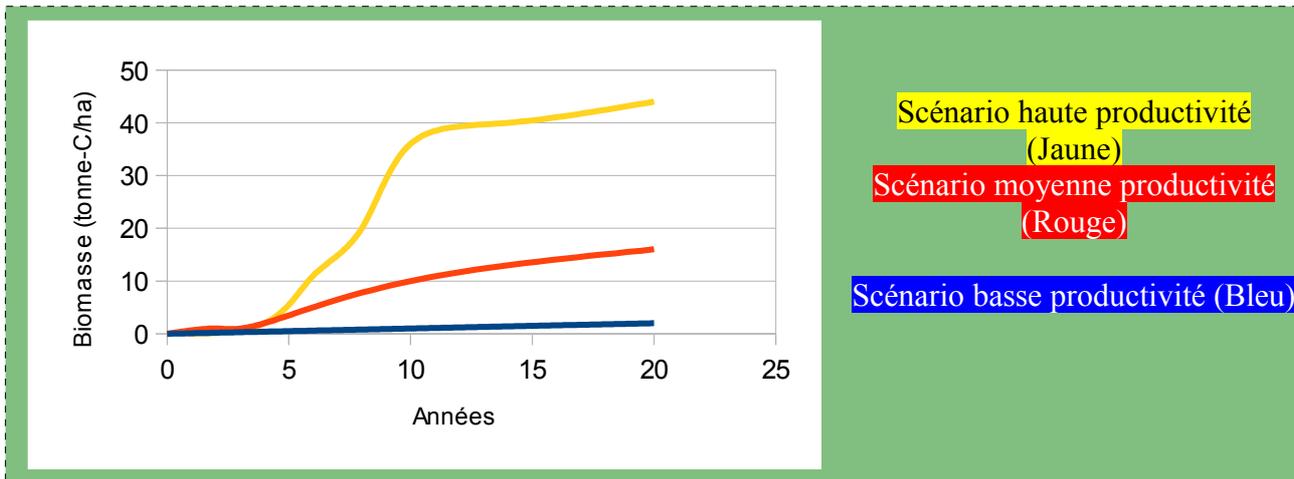


Tableau 7 : Rendement surfacique théorique selon les différents scénarios

Cette étude s'échelonne sur 25 ans, avec le but d'atteindre 3 milliards de tonnes d'équivalent carbone par an.

2) La NEDO soutient aussi via l'université d'Osaka et l'université Shinshu, un projet analogue visant à une amélioration du rendement de production de biomasse en milieu aride. Débuté en 2006 par une simulation de production et la mise en place d'une stratégie de culture, l'étude (figure 10) se poursuit actuellement par une culture d'*Eucalyptus camaldulensis* en Australie Occidentale. Un dynamitage des sols permet d'éliminer la couche supérieure imperméable et la régénération des souches d'arbres est en cours⁷⁰.

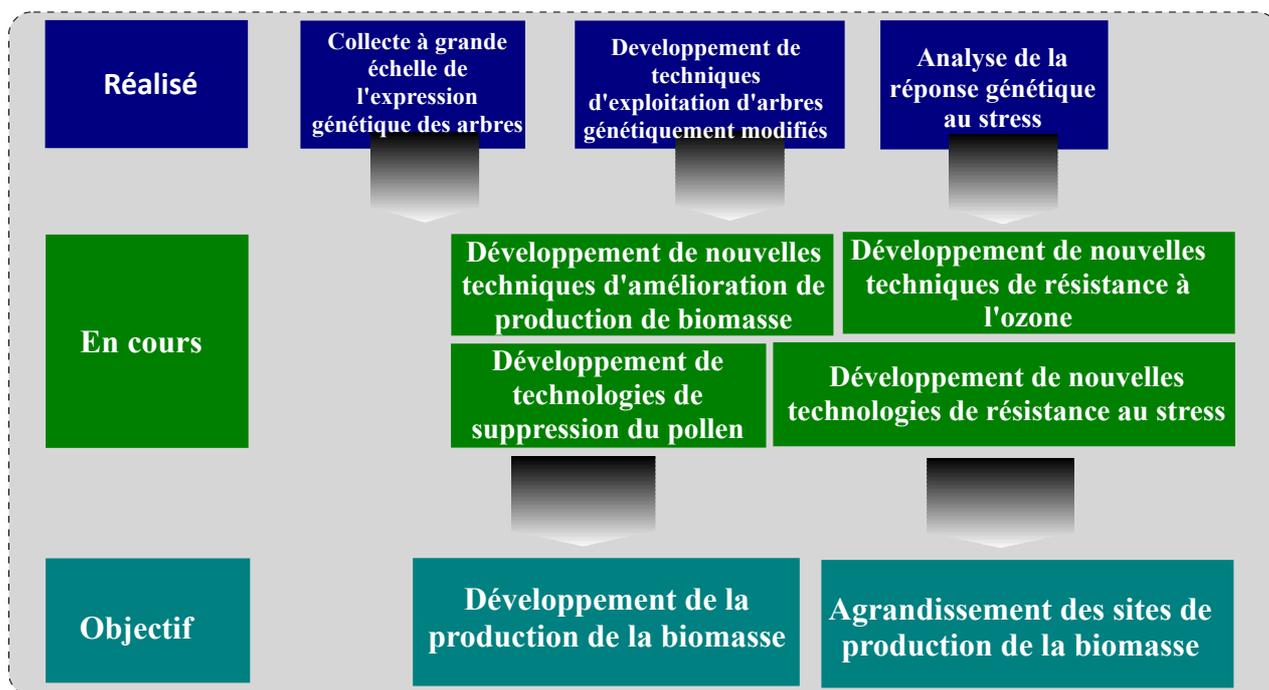


Figure 10 : Organisation du projet des universités d'Osaka et Shinju

3) Un troisième projet a aussi été engagé afin de produire des espèces s'épanouissant en milieu sec avec une forte teneur en sel. Il se présente sous la forme d'une collaboration entre deux partenaires académiques qui sont les universités de Tsukuba et l'université des sciences et technologies agricoles de Tokyo (USTAT), et un partenaire industriel qui est la compagnie Nippon Paper⁷¹. Les grandes lignes du projet sont détaillées dans le diagramme représenté sur la figure 11.

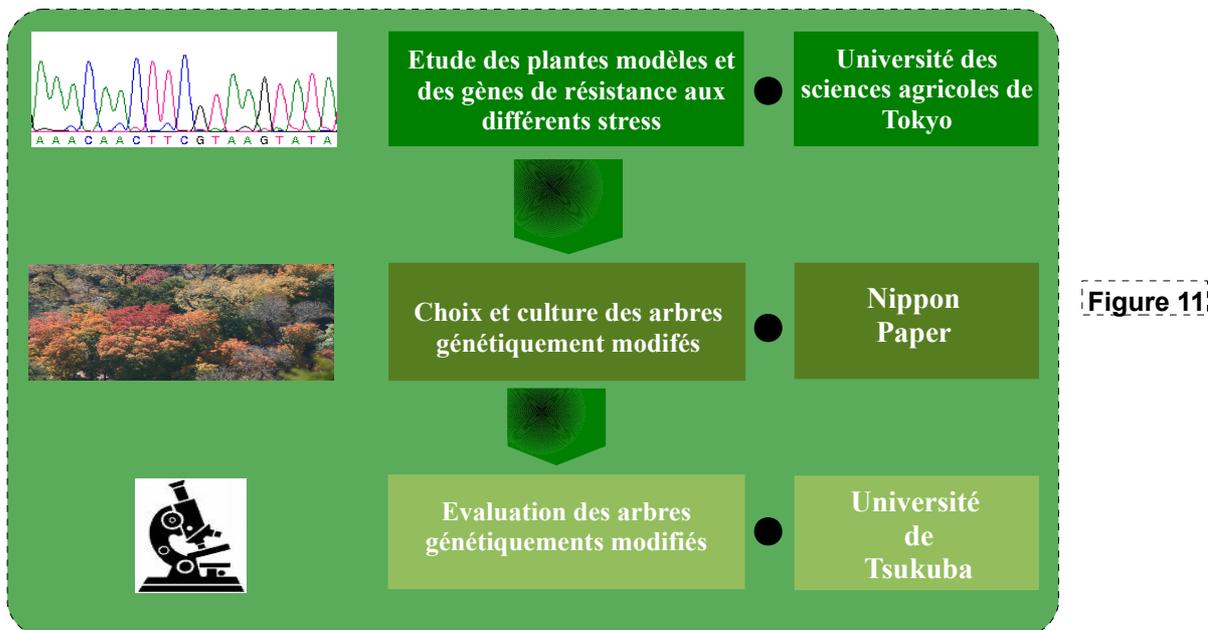


Figure 11

Le projet a déjà atteint certains objectifs qui avaient été fixés⁴ puisque les étapes suivantes ont été franchies :

a) 3 différentes souches d'*Eucalyptus camaldulensis* ont été produites, introduisant avec succès les gènes codant pour 3 protéines susceptibles d'apporter une bonne résistance au sel :

- Mangrin, une allène oxyde cyclase* issue d'une plante de la mangrove, *Bruguiera sexangula* et qui contribue à la forte tolérance au sel de cette dernière puisqu'elle parvient à pousser dans une concentration de 400 mM de NaCl⁷².
- Choline Oxydase* (ou codA), une protéine permettant la synthèse de la glycine bêtaïne, un osmoprotectant^{73*}.
- RBP : Retinol Binding Protein, Protéine de transport plasmatique.

b) L'introduction dans les souches a été testée via la souche MG1655 d'*E. coli*. Nippon Paper a en outre réussi l'introduction du gène codant pour RBP dans une souche de *Populus tremula var. Sieboldi*. La résistance au sel de ces souches est en cours de vérification au niveau de l'USTAT. Parallèlement à ces tests de résistance au sel, les équipes universitaires conduisent de manière systématique une étude d'impact environnemental de l'introduction de chacune des souches dans l'environnement, ces études s'étant révélées positives jusqu'à maintenant. La culture en chambre d'isolation des arbres issus de la souche codA a débuté en 2010 afin d'évaluer en milieu artificiel la résistance au sel des arbres.

c) Enfin l'accent est aussi placé sur la détermination plus rapide d'une méthode de sélection des souches candidates.

4) Finalement, un projet intéressant d'amélioration de la biomasse est porté par l'université d'Hokkaido⁷⁴. Il est basé sur la modification du *Miscanthus giganteus*, espèce cultivée au Japon, à partir de *Miscanthus sinensis*. L'objectif est d'optimiser le ratio hémicellulose/lignine/cellulose et de permettre une meilleure saccharification. En outre, sa capacité à croître et à se reproduire en terrain pauvre confère à l'espèce un statut privilégié dans la recherche sur les bioénergies^{75,76}.

Le projet a suivi différentes étapes afin d'obtenir un procédé d'introduction des gènes choisis. Tout d'abord des souches de *M. sinensis*, récoltées à différents endroits du Japon, ont été stérilisées, puis soumises à un bombardement particulaire* de plasmides d'ADN contenant *gfp* (protéine fluorescente verte*). Les souches ayant assimilé le plasmide ont ensuite été sélectionnées⁹ et l'étude de leur croissance a été facilitée par l'emploi de *gfp*.

Une méthode d'introduction génétique efficace ayant été établie, l'étude s'oriente maintenant vers l'introduction du gène déaminase ACC, et devrait permettre de sur-exprimer le fructose^{77,78}.

5) L'amélioration des conditions de culture et de production de biomasse passe aussi par des projets plus généraux et empruntant d'autres voies que celles évoquées précédemment. En l'occurrence, le projet de recherche mené en collaboration entre l'université de Tsukuba et de Chiba utilise une bactérie, *Agrobacterium** afin de procéder à des modifications de la biomasse (*E. ravannae*, *Pennisetum purpureum*, *Miscanthus*⁷⁹, et *Sorghum**) qui se révéleraient effectives. En se basant sur des recherches antérieures⁸⁰⁻⁸² portant sur le gène codant pour l'enzyme ACC déaminase*, le transfert de ce dernier (issu de *Pseudomonas**) dans *Agrobacterium* a été achevé avec succès.

La seconde phase, c'est-à-dire l'utilisation du super-agrobacterium qui permet de transférer le gène dans les plantes considérées plus tôt, est en cours de réalisation. Les chercheurs assurent avoir opéré avec succès une recombinaison homologue vers le génome de la canne à sucre. En parallèle à ces expériences, de nombreux tests de cultures sont en cours d'élaboration afin de déterminer les meilleures conditions de culture, à la fois en serre et en champ isolé⁸³.

3.2.2. Troisième génération

Le seul projet intéressant portant sur la modification génétique de microalgues afin d'améliorer leur productivité implique une coopération entre l'université Chuo et l'entreprise DENSO⁸⁴.

Ce projet est basé sur l'étude d'une algue verte unicellulaire, *Pseudochoircystis ellipsoidea* capable de produire intracellulairement des hydrocarbures ramifiés et linéaires. L'étude se présente sous la forme d'un procédé en plusieurs parties⁸⁵:

1. **Croissance des cellules pauvres en essence sous atmosphère sans d'azote durant une semaine,**
2. **accumulation de l'essence dans les cellules durant une semaine sous atmosphère sans azote,**
3. **analyse génomique de *P. ellipsoidea*,**
4. **analyse transcriptomique des facteurs de transcription de réponse à la privation d'azote (FTRPA),**
5. **identification des FTRPA,**
6. **expression des FTRPA,**

7. **vérification de l'amélioration de la production d'essence sous atmosphère d'azote via un test d'une semaine à partir des cellules riches en essence issues de l'étape 2.**

Le séquençage entier du génome de *P. ellipsoidea* a pu être établi après avoir été entièrement récupéré via une électrophorèse en champ pulsé*. La taille du génome a été estimée à environ 50 Mbp⁸⁶.

L'emploi d'une solution de rouge du Nil a permis de déterminer le temps nécessaire à la production d'alcanes et pendant combien de temps cette dernière continuait à augmenter. Les valeurs déterminées sont respectivement de 8 heures et 5 jours à partir du début de la privation d'azote. Les chercheurs ont réussi à montrer, via une analyse transcriptomique (méthode Illumina / Solexa), que la privation d'azote mène à l'induction de certains gènes ainsi qu'à la répression de certains autres⁸⁶. L'expression des FTRPA est en cours.

Enfin cette revue de la recherche sur les microalgues ne serait pas complète sans aborder les travaux du professeur Watanabe de l'université de Tsukuba. Le laboratoire du Professeur Watanabe est un des laboratoires les plus importants du Japon qui se spécialise dans la recherche sur les microalgues et tout particulièrement *Botryococcus braunii*, (figure 13) ainsi que *Aurantiochytrium*, cette dernière étant à même de produire seize fois plus d'hydrocarbures que *B. braunii*. Les deux algues sont à même de générer des drop in fuels*, catégorie de biocarburants qui ne nécessite pas de changement majeur dans les infrastructures pétrochimiques existantes et

qui peut donc être utilisée sans aucune autre opération de génie chimique que le craquage catalytique.

Il est à noter que *Aurantiochytrium* génère du squalène (figure 12), un sous produit particulièrement intéressant, avec des applications dans le domaine des cosmétiques. Les recherches du groupe s'orientent vers la détermination de conditions de culture optimales⁸⁷. Les rendements constatés actuellement sont de l'ordre de 0.9 g/l.

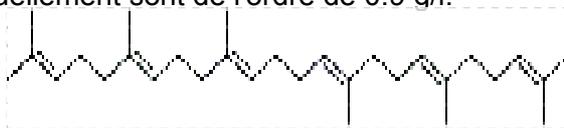


Figure 12 : Formule topologique du squalène

L'un des objectifs à long terme des recherches du professeur Watanabe est de parvenir à produire des « drop-in fuels ». Ces produits particuliers seront traités dans une partie ultérieure de ce dossier. L'objectif à court terme est de parvenir à multiplier d'un facteur dix le rendement des huiles issues de *Botryococcus*. Pour cela, différentes conditions de culture sont testées, au nombre desquelles figurent l'étude de l'influence des longueurs d'onde de la lumière du milieu⁸⁷, de l'utilisation d'eaux usées provenant de tofu sur la croissance de *B. braunii*^{88,89} ainsi que l'influence du niveau de salinité du milieu de culture sur la croissance des algues.



Figure 13 : Culture des micro-algues au sein du laboratoire du professeur Watanabe

A ce stade il est intéressant de mentionner l'existence d'une association fondée en juin 2009, l'Algal Industry Incubation Consortium Japan. Similaire à AlgoSud (regroupement français de plus de 65 acteurs du domaine des algues), cette association a pour but de créer un réseau d'acteurs académiques et entrepreneuriaux qui, via des conférences et des réunions partagent les résultats de leurs recherches sur les microalgues. Elle cherche mais surtout à écrire une feuille de route sur la recherche et le développement sur la biomasse algale au Japon.

Celle-ci sera élaborée sous les auspices du MAFF en collaboration avec 65 différentes compagnies et chapeaute la création d'un parcours d'étude dédié uniquement à l'étude des algues à l'université de Tsukuba



**Algal Industry Incubation
Consortium JAPAN**

藻類産業創成コンソーシアム

Enfin un projet de recherche de la NEDO a une visée plus généraliste. Il est mené par 3 partenaires académiques⁹⁰, vise à pallier le manque de données d'ordre métaboliques et génétiques sur différentes espèces de plantes pouvant aider à produire des biocarburants. Il procède selon la figure 14.

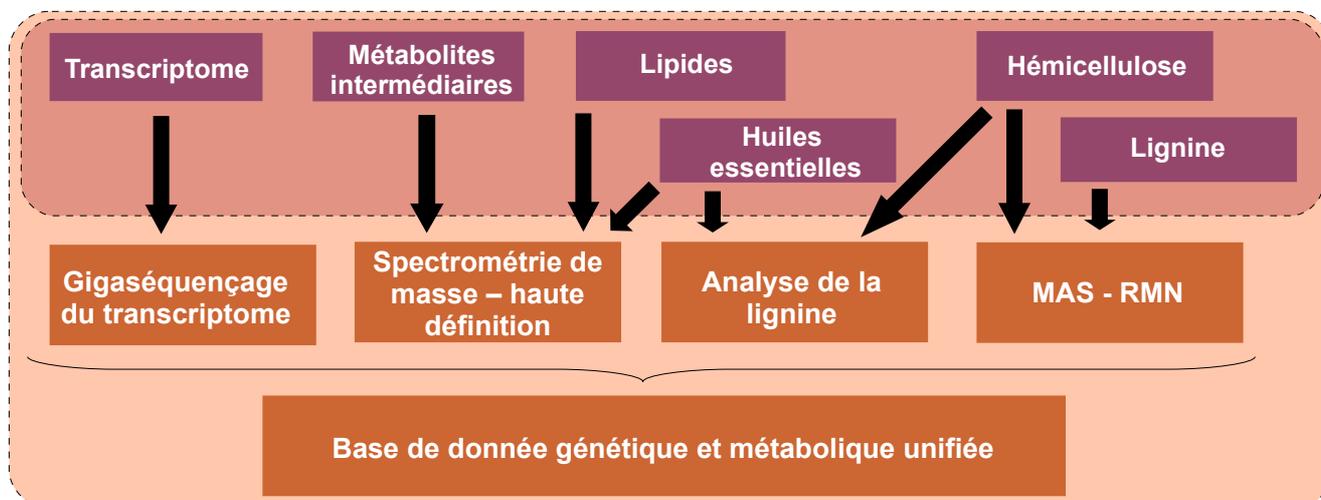


Figure 14 : Schéma du projet

Les plantes énergétiques étudiées comprennent *Erianthus ravennae* (sur laquelle l'étude s'est ensuite focalisée), *Jatropha*, *Eucalyptus*...

Les analyses présentées sur le schéma suivant (figure 14) ont été effectuées^{91,92}. Une présentation du procédé et d'une partie des résultats a déjà été publiée et est en accès libre⁹³. Elles ont permis une récolte de nombreuses données rassemblées dans une base. Leur analyse permettra une meilleure connaissance des différentes espèces de plantes énergétiques.

3.3. Production de biocarburants

3.3.1. Seconde génération

3.3.1.1. La saccharification

Plusieurs projets visent à améliorer la production de bioéthanol via une modification du procédé de saccharification. L'un d'entre eux passe par l'utilisation de l'écorce des arbres, matériau habituellement jeté et détruit.

Établi autour d'une amélioration d'*Aspergillus oryzae*

(un champignon microscopique qui permet d'amorcer le processus de saccharification en produisant des sucres, figure 15), ce projet cherche à valoriser au maximum l'écorce en visant une production de 170 litres de bioéthanol par tonne d'écorce⁹⁴.



Figure 15 : *Aspergillus oryzae*

Le procédé suit un ligne simple : l'écorce collectée est pré traitée de manière non intensive afin d'éliminer les glucide en excès. Celle-ci est ensuite soumise à un traitement enzymatique via *Aspergillus oryzae*, puis les produits résultants sont filtrés avant leur fermentation pour produire le bioéthanol (tableau 8).

	Objectif	Résultat
1	Recherche des biomarqueurs Choix de l'espèce à étudier	Biomarqueur : Rendement glucosidique Espèces étudiées : <i>Eucalyptus/Sugi</i> (cèdre japonais)
2	Evaluation des matériaux de conservation (via techniques cytochimiques et d'analyse d'images)	Correspondance des taux de réduction des sucres et de conservation de la quantité d'amidon
3	170 litres de bioéthanol (296 tonnes de sucres) pour une tonne d'écorce	Résultat atteint à : <ul style="list-style-type: none"> • 167 % par oxydation des sucres (284 litres) • 136 % via des enzymes (231 litres)
4	Développement de nouvelles techniques légères de pré-traitement de saccharification	Objectif atteint via traitement hydrothermique par CO ₂
5	Évaluation de la saccharification de l'écorce via des cellules de levure	Validité du traitement par pectinase*
6	Visualisation du mécanisme de traitement enzymatique de l'écorce	Pré-traitement/Traitement enzymatique de la membrane cellulaire

Tableau 8 : Etapes du projet

Le projet a donc conduit à des résultats intéressants, puisqu'on constate que les objectifs ont été atteints, notamment en ce qui concerne le rendement de production de bioéthanol.

L'étude ayant été menée avec la collaboration de l'entreprise Oji Paper, le procédé est cours d'application dans les forêts contrôlées par le groupe en Australie Occidentale (ville d'Albany⁹⁵). Celles-ci recèlent un fort potentiel de production au vu des 450 000 tonnes d'écorces générées par an.

De nombreux projets sont basés sur l'utilisation de traitements chimiques de la biomasse afin de produire du bioéthanol. L'un des plus intéressants est issu d'une collaboration entre deux partenaires académiques⁹⁶ qui vise à utiliser une combinaison entre un traitement à l'ammoniac de la biomasse ligneuse et un procédé de saccharification bactériologique (par la bactérie *Ruminococcus flavefaciens*) des produits issus de ce traitement. Non seulement il permet de produire du bioéthanol, mais il incorpore un traitement utile des déchets qui permettent de générer l'énergie nécessaire au fonctionnement des installations (13 000 GJ/an).

Le procédé a été testé et s'est révélé fiable, il est détaillé dans le schéma suivant (figure 16).

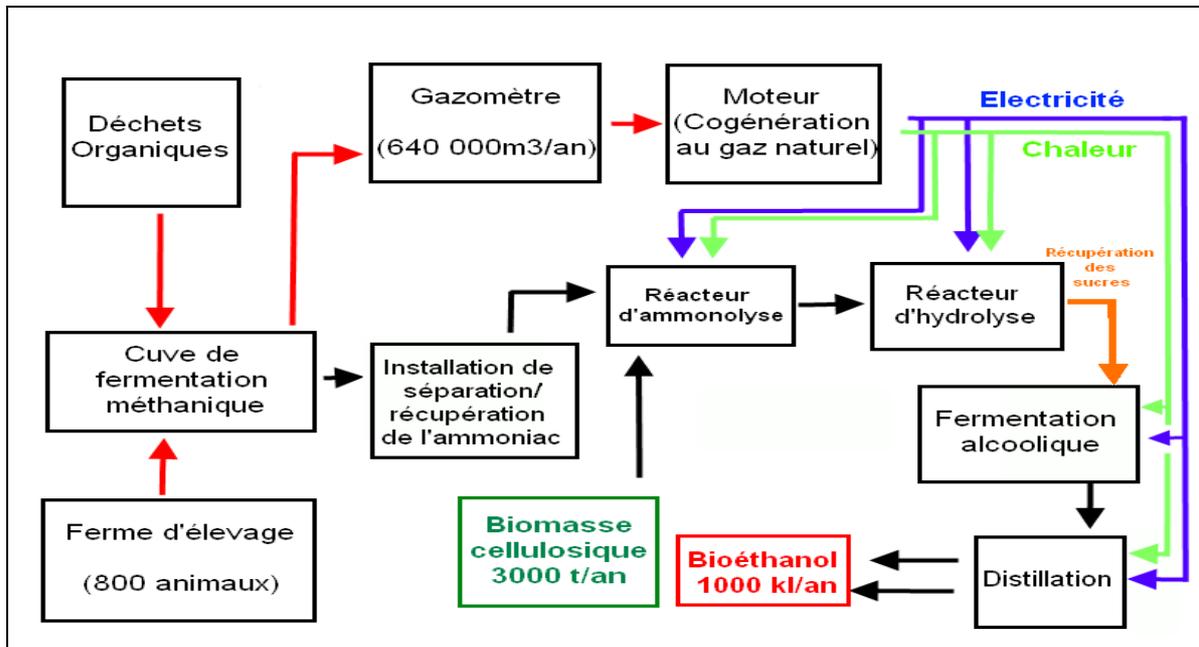


Figure 16 : Schéma du système de cogénération d'éthanol ligneux

Différents points de ce procédé méritent d'être soulignés : le rendement observé varie grandement en fonction du type de biomasse ligneuse utilisé. La résolution de ce problème pourrait passer par l'utilisation d'un bioréacteur modifié incorporant un feutre en fibres de carbone conducteur.

Les matériaux ligneux et le bioéthanol : Utilisation et traitement

Les matériaux ligneux*, dont l'exploitation croissante permet de produire du bioéthanol, sont composés de trois différents biopolymères dont le traitement et la valorisation sont différents : la cellulose*, l'hémicellulose* et la lignine*. L'étude de leur biodégradation a suscité un fort intérêt de la part des biologistes de par les produits générés par celle-ci : en effet, différents sucres en sont issus tels que le glucose pour la dégradation de la cellulose via l'hydrolyse de la liaison glycosidique β -1,4 ou le xylose* pour l'hémicellulose), pouvant mener plus tard à l'obtention de bioéthanol par fermentation alcoolique⁹⁸.

Comme il a été mentionné précédemment, les procédés de biodégradation des biopolymères varient grandement, même si les mécanismes mis en jeu pour les deux premiers sont sensiblement voisins mais très différents de ceux de la lignine. Cette différence peut s'expliquer par la nature même des structures biochimiques envisagées : la cellulose, comme l'hémicellulose sont des macromolécules linéaires alors que la lignine présente une structure complexe ainsi qu'une masse moléculaire bien plus importante que les deux autres. Ces deux facteurs, couplés à son insolubilité rendent sa dégradation plus compliquée. Certains bioorganismes parviennent à dégrader la lignine, à l'instar de *Phanerochaete chrysosporium*⁹⁹ une espèce fongique lignivore sur laquelle certaines études se portent afin d'améliorer son potentiel de dégradation.

Le précédent chapitre a présenté notamment le procédé d'obtention d'éthanol biocellulosique, qui comporte une étape de délignification. Cette dernière, si elle est effectuée via l'utilisation d'une espèce biologique (*P. chrysosporium* par exemple) plutôt que par un traitement physicochimique, permet de réduire l'occurrence des réactions parallèles parasites et d'obtenir des rendements plus importants et ainsi de consommer moins d'énergie. Ceci est rendu possible par le recours à une espèce qui opère successivement l'étape de saccharification puis celle de la fermentation des sucres générés. Cependant, l'utilisation de cette espèce se révèle être problématique, notamment en raison du coût du traitement enzymatique associé à l'hydrolyse des xylanes. Ces derniers constituent 45% des sucres récupérables par hydrolyse alors qu'ils ne représentent que 15% des sucres cellulosiques.

L'étude de l'amélioration du procédé de dégradation enzymatique de la cellulose peut aussi passer par l'utilisation d'espèces fongiques, à l'instar de *Trichoderma reesei*¹⁰⁰. Ce champignon, dont le génome a été complètement séquencé, est pressenti pour contribuer à la génération de biocarburants¹⁰¹. *T. reesei* est une source potentielle de cellulases et d'hémicellulases employées afin de dépolymériser la biomasse ligneuse. Le recours de plus en plus fréquent au bioéthanol implique une utilisation croissante de ces enzymes, d'où un besoin de sources de production moins onéreuses ; *T. reesei* de par son abondance répond à ce besoin. Le projet soutenu par la NEDO vise à construire une souche de *T. reesei* surexprimant la cellulase¹⁰². Il procède selon le schéma suivant :

- 1. Analyse des cellulases et des protéines spécifiques à la fermentation en milieu solide.**
- 2. Analyse du système de régulation génétique des cellulases et protéines spécifiques à la fermentation en milieu solide. Grâce au projet Gene Ontology*, les fonctions moléculaires des gènes de la souche PC 3-7 ont pu être déterminés.**
- 3. Comparaison des systèmes de culture en phase liquide et solide via l'utilisation de puces à ADN*, comparaison de l'ensemble des génomes des souches issues des 2 cultures (9174 gènes).**

4. Expression des cellulases et protéines spécifiques pour une culture submergée en phase solide.

A la suite de l'expression et de la caractérisation des souches en phase liquide et solide, le procédé de saccharification a pu être amélioré puisque le rendement de saccharification en phase liquide a connu une augmentation de 15%.

Le procédé de saccharification peut être envisagé selon différents schémas. Dans l'un d'entre eux on utilise des membranes permettant de récupérer les enzymes de saccharification¹⁰³. L'entreprise Toray a développé et amélioré plusieurs aspects du procédé d'obtention du bioéthanol, en particulier les étapes de traitement de la biomasse ligneuse menant à l'obtention de sucres (figure 17).

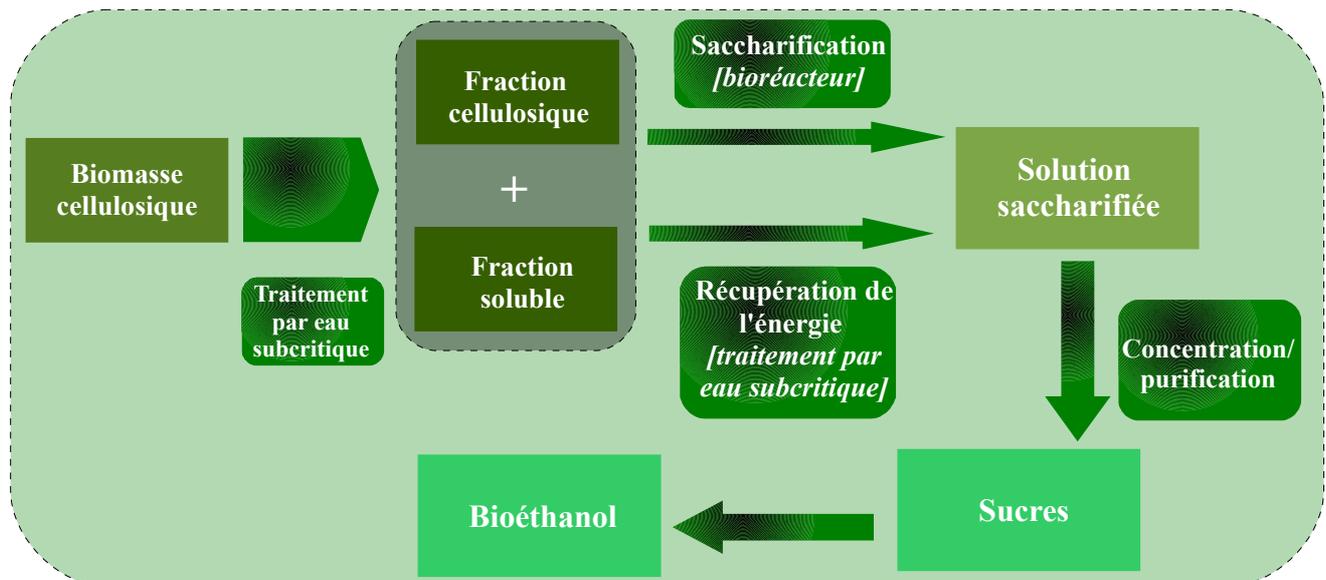


Figure 17 : Schéma du procédé.

Grâce à l'incorporation d'une membrane au sein du bioréacteur, ce procédé permet de récupérer entre 40 et 60% des enzymes utilisées lors de la saccharification de la fraction cellulosique (hexoses).

Parallèlement à ce traitement, la fraction soluble (contenant les pentoses) est elle-même soumise à un second procédé de traitement par eau subcritique* couplé à l'utilisation d'une membrane dite à osmose inverse*¹⁰⁴ (figure 18).

Cette membrane permet de concentrer la solution saccharifiée obtenue afin d'obtenir une solution de glucose prête pour l'étape finale de fermentation alcoolique.



Figure 18

Les liquides ioniques et les biocarburants, une approche novatrice

Il est intéressant de mentionner ici deux projets de recherche ayant en commun l'emploi de liquides ioniques^{*,105}. Ces derniers ont déjà été évoqués à de nombreuses reprises comme solvant de la cellulose^{106,107}. En plus de leur innocuité environnementale et de leur faible coût, ils permettent de résoudre le problème de la faible solubilité de la cellulose dans l'eau et dans la majorité des solvants organiques. Il existe différents types de liquide ioniques (LI), les plus efficaces étant ceux qui incorporent des anions en raison de leur caractère accepteur de liaison hydrogène.

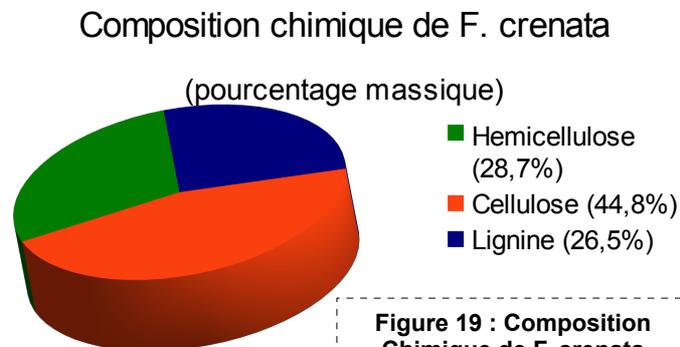
- Dans le premier projet¹⁰⁸, l'utilisation d'un LI chloré lors du prétraitement de la biomasse ligneuse permet¹⁰⁹ une meilleure saccharification de la cellulose en désorganisant le réseau cristallin du biopolymère. L'accès aux régions du réseau cristallin préalablement protégées est alors facilité. Une levure a été modifiée génétiquement par l'université de Kobe pour résister au LI. Cette « *levure à bras* » (*arming yeast*) *Saccharomyces cerevisiae*, peut alors accéder à la cellulose et la dégrader grâce aux cellulases. Elle peut effectuer les deux étapes successives de saccharification et de fermentation. Le liquide ionique peut être facilement régénéré par ajout de solvant organique qui provoque sa précipitation du LI. Par exemple l'ajout d'acétone permet de récupérer 82 % du LI.
- Un second projet¹¹⁰ conduit par les universités de Tottori, de Shinshu et par l'entreprise Idemitsu Kosan, utilise également un liquide ionique hydrophobe qui, combiné à l'utilisation d'une enzyme halotolérante, permet de générer du glucose. Ce projet prévoit aussi l'étude d'un procédé de régénération du liquide ionique.

3.3.1.2. Étude des procédés de fermentation

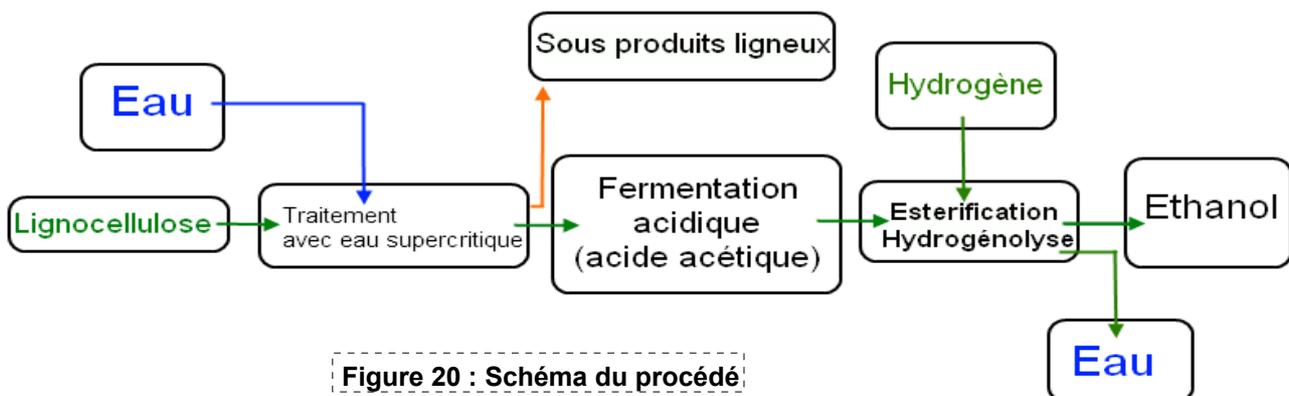
De nombreuses études de la NEDO ont pour objectif d'optimiser l'étape de fermentation par différents moyens, que ce soit via un traitement biologique ou chimique.

3.3.1.2.1. La voie chimique

Cet axe de recherche est prometteur¹¹¹. Il est largement traité dans le laboratoire du professeur Saka de l'université de Kyoto. Ce dernier a réussi à mettre en place un procédé d'hydrolyse de biomasse ligneuse provenant d'une espèce sylvestre indigène. Le *Fagus crenata*, une espèce de hêtre japonais dont la composition est représentée par la figure 19. Pour cela il utilise^{112,113} de l'eau en condition subcritique.



Le schéma de la figure 20 décrit le procédé :



L'avantage d'utiliser de l'eau supercritique comme solvant réside¹¹⁴ dans sa capacité de dissolution de la lignocellulose de manière bien plus efficace, contrairement à de nombreux solvants organiques. L'eau supercritique peut en effet attaquer les liaisons éther des trois biopolymères constitutifs de la lignocellulose, que ce soit l'hémicellulose, la cellulose ou la lignine. L'équipe du Prof. Saka a effectué différents tests via deux types de procédés de traitement par eau supercritique :

1. Procédé semi-continu.
2. Procédé par batch.

Les deux procédés exhibent des taux de conversion de la cellulose convenables, mais les températures et pressions optimales du traitement varient selon les procédés.

Chacun d'eux incorpore un aspect biologique. En effet, les saccharides sont ensuite convertis en éthanol via une combinaison de deux bactéries : *C. thermocellum* (conversion des cello-oligo-saccharides en un premier groupe de composés organiques [eau, éthanol, glucose...]) et conversion des xylo-oligo-saccharides en un second groupe de composés [xylobiose, acides, produits dérivés de la lignine...]) et *C. thermoaceticum* (conversion du premier et du second groupe en acide acétique). A la suite de cette étape biologique, l'acide acétique est hydrogéné en deux étapes (2MPa, 250°C, catalyse par Cu/Zn) pour générer de l'acétate d'éthyle puis de l'éthanol.

L'avantage majeur de cette méthode réside dans l'absence d'un catalyseur lors de la première étape de décomposition de la biomasse.

3.3.1.2.2. La voie biologique

Cette voie est empruntée par deux projets de recherche. Le premier¹¹⁵ est axé sur l'utilisation d'une levure capable de se développer et de fermenter à forte température, *Kluyveromyces marxianus*¹¹⁶ (35 à 40°C, soit une dizaine de degrés de plus que *S. cerevisiae*). L'intérêt de cette levure réside dans sa capacité à utiliser la cellobiose, le xylose et l'arabinose pour sa croissance, capacité que *S. cerevisiae* ne possède pas. De plus *K. marxianus* peut être transformé de manière efficace avec de l'ADN linéaire. Cette méthode permet de réduire les coûts liés à la fermentation éthanolique et d'augmenter l'activité enzymatique. Une méthode de production efficace d'une souche modifiée de *K. marxianus* a pu être établie¹¹⁷⁻¹¹⁹ à l'aide d'un promoteur spécifique provenant de *S. cerevisiae*. L'étude est désormais finie au niveau expérimental et s'oriente vers l'optimisation du procédé à l'échelle industrielle. Elle a permis de déterminer les avantages financiers liés à l'utilisation d'une levure modifiée par rapport à un procédé lié au recours à *S. cerevisiae*. Pour une usine de taille moyenne, c'est-à-dire générant 30 Ml par an de bioéthanol, l'installation d'un processus de réfrigération nécessite un procédé fonctionnant à 40°C revient à 50 millions de yens, soit 500 000 euros. Mais en tenant compte de la baisse des coûts liés à la réfrigération pré-fermentatoire (passage de 90°C à 40°C au lieu des 32°C précédents) qui permet d'économiser 133 000 euros par an, les frais d'installation sont amortis en 4 ans.

L'optimisation génétique des levures, et tout particulièrement de *S. cerevisiae* est au cœur du second projet décrit ci-après^{120,121}. Il a été mis au point à partir des résultats d'une étude précédente déjà effectuée par la même équipe¹²². Celui-ci consiste en l'établissement d'un procédé de génération de bioéthanol à partir des déchets organiques provenant de commerces et de ménages. Cette étude avait permis de mettre en place un procédé intéressant mais qui occasionnait 31% de pertes glucosiques pots-saccharification et qui conduisait à une faible concentration éthanolique finale (30 g/l). Afin d'améliorer ce procédé, l'idée des chercheurs a été de mettre en place un système de saccharification et fermentation simultanée (SSF) suivie d'une étape de fermentation méthanolique en phase sèche. Après avoir optimisé le procédé et défini différentes fermentations correspondant à la provenance des déchets organiques (résidentiels/commerces), des résultats intéressants ont pu être obtenus. Ainsi la conversion énergétique a été significativement améliorée puisque 85% de l'énergie contenue dans les déchets a pu être extraite et le procédé permet de générer 17,7g/l/h¹²³.

3.3.1.3. Le Procédé Fischer-Tropsch et les biocarburants : Un axe de recherche qui se développe

Le procédé Fischer-Tropsch est un procédé classique de génie chimique mis au point en Allemagne en 1923 et qui permet de produire catalytiquement des hydrocarbures à partir de gaz de synthèse. S'il était un procédé au cœur de l'industrie pétrolière au début du XX^{ème} siècle, il a été abandonné progressivement après la seconde guerre mondiale au profit d'autres procédés pétrochimiques. Seule l'Afrique du Sud avec la compagnie nationale Sasol a continué à effectuer des recherches pour l'améliorer et l'utiliser en raison de l'embargo qui frappait le pays au cours de la période de l'apartheid. Les recherches ont repris aujourd'hui avec l'espoir que son application dans le domaine des biocarburants permette d'arriver à des résultats intéressants.

Comme il a été mentionné précédemment, il s'agit d'un procédé catalytique, ce qui implique que la nature du catalyseur est primordiale. Dans le cas du procédé Fischer-Tropsch appliqué aux biocarburants, deux types de catalyseurs sont employés¹²⁴ :

- **Catalyseurs à base de fer :**

Ceux-ci sont de moins bonne qualité, c'est-à-dire qu'ils sont moins actifs, plus sensibles à l'eau et plus facilement désactivés. En contrepartie, leur coût est plus faible.

- **Catalyseurs à base de cobalt :**

Un projet de recherche de la NEDO¹²⁵ s'est intéressé au développement d'un catalyseur à base de cobalt, fer et graphite³ afin de mettre au point un procédé de synthèse de biodiesel qui pourrait être conduit à faible pression. Ce procédé a permis d'obtenir une conversion de plus de 85% du monoxyde de carbone et une sélectivité vis à vis des pentoses supérieure à 80%. Il est à noter que cette réaction a été conduite sous des conditions expérimentales relativement douces, à savoir à une température comprise entre 240-260°C et une pression de 1 à 3 MPa¹²⁶.

Un second projet¹²⁷ vise le développement d'un catalyseur qui permet de répondre aux conditions expérimentales suivantes :

1. Procédé de Fischer Tropsch sur réacteur à lit fixe et basse pression (<1,0 MPa),
2. faible influence sur le ratio H₂/CO,
3. forts rendements liquides (>50% de conversion des pentoses),
4. contrôle de la distribution des produits grâce à des zéolites*.

Grâce à un réacteur expérimental, les résultats de l'étude se sont avérés positifs puisqu'avec un rapport H₂/CO de 2,1, les objectifs annoncés plus hauts ont été atteints. Ils sont indiqués dans le tableau 9¹²⁸ :

Ratio H ₂ /CO	2.1	1.8
Taux de conversion du CO	82.7%	69.5%
Sélectivité du CH ₄	9.1%	7.2%
Rendement pentosique	58.8%	50.9%

Tableau 9 : Résultats numériques de l'étude

L'intérêt principal des carburants désulfurés réside dans leur moindre nocivité environnementale que le biodiesel conventionnel¹³². Ce type de carburants, s'il est d'un coût plus élevé, permet de dégager moins de particules nocives dans l'atmosphère, en particulier les oxydes d'azote (NO_x). La désulfuration est donc un paramètre important pour la commercialisation du carburant. La présence de charbon activé permet une désulfuration partielle qui est ensuite complétée par le ZnO. La concentration finale de soufre est inférieure à 30ppm¹²⁹.

Après des tests effectués par Toyota, (sur le modèle NEDC Toyota Avensis moteur 2,2l TDI sans catalyseur), aucune différence importante n'a été constatée entre un carburant à 10% BTL et un carburant diesel normal¹³⁰.

Enfin, une collaboration industrialo-académique¹³¹ a donné lieu à l'élaboration d'un procédé de liquéfaction catalytique de gaz issu de la gazéification de la biomasse. Le but de ce procédé est l'obtention efficace de biodiesel désulfuré à partir de résidus variés de biomasse, à l'instar des différentes sources présentées dans le tableau 10 :

Type de biomasse	Rendement de gazéification	Difficulté de l'opération	Pourcentage de cendres à l'issue du procédé
Cèdre du Japon <i>Cryptomeria japonica</i>	95~98%	Non	0,26%
Écorce de Cèdre du Japon	90~93%	Oui	1,44%
Bagasse	90~98%	Non	2,65%
Huile de palme	90~100%	Non	2,73%
Résidus d'huile de palme	>95%	Non	2,84%

Tableau 10

Ce procédé représenté sur la figure 21, combine différentes étapes qui permettent de contrôler la composition du gaz de synthèse qui sera ensuite liquéfié pour produire différents types de biodiesel. Il incorpore notamment une étape de Fischer-Tropsch avec un catalyseur de ruthénium supporté sur silice ($[\text{Ru}(\text{NO}_3)_3(\text{NO})], \text{RuCl}_3$) auquel est ajouté des sels de manganèse ($\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}, \text{NaNO}_3$).

Son objectif de 48% de récupération d'énergie a été atteint dans les conditions expérimentales du laboratoire. La transposition à l'échelle industrielle est à l'étude en ce moment.

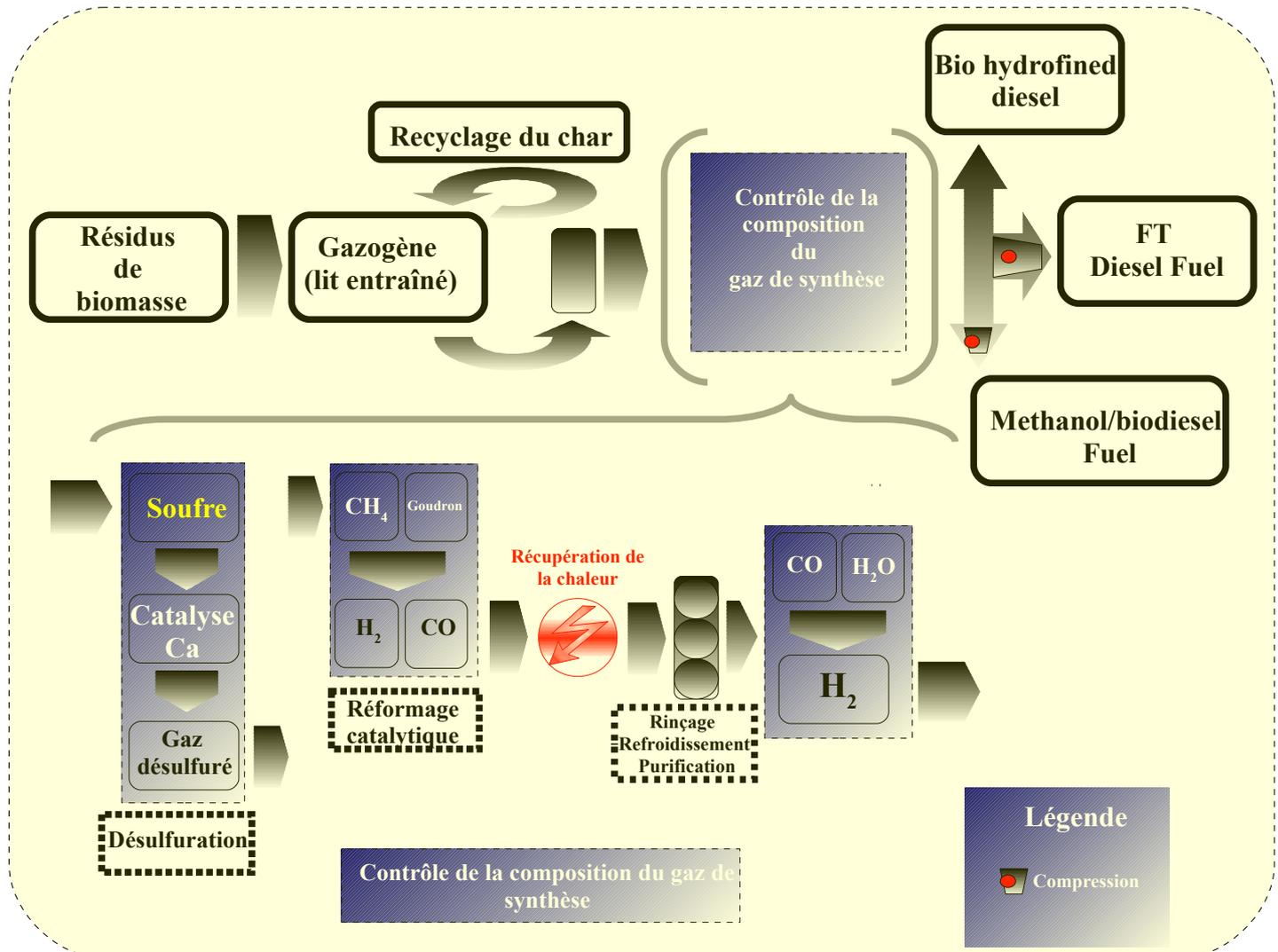


Figure 21

3.3.1.4. Le biodiesel : Le cas du laboratoire du professeur Saka de l'université de Kyoto

La plupart des méthodes d'obtention de biodiesel sont basées sur l'utilisation d'un catalyseur¹³³ alcalin, intégré à un procédé par batch, et qui doit être recyclé. De plus, ce procédé nécessite une saponification des acides gras libérés et une neutralisation par excès de catalyseur. Cette méthode aboutit à un faible rendement en un temps relativement long et de l'eau est générée comme sous-produit, ce qui consomme le catalyseur¹³⁴. Comme pour le bioéthanol, le laboratoire du professeur Saka est très axé sur la thématique des fluides supercritiques. Ayant mené des recherches sur ce sujet pendant une dizaine d'années, il a connu plusieurs orientations, notamment en ce qui concerne la nature du solvant à utiliser.

Afin de remédier aux inconvénients cités plus haut, qui empêchent d'obtenir un rendement satisfaisant, le professeur Saka a tout d'abord développé une méthode de production de biodiesel à partir d'huile de Colza¹³³ représenté sur la figure 22.

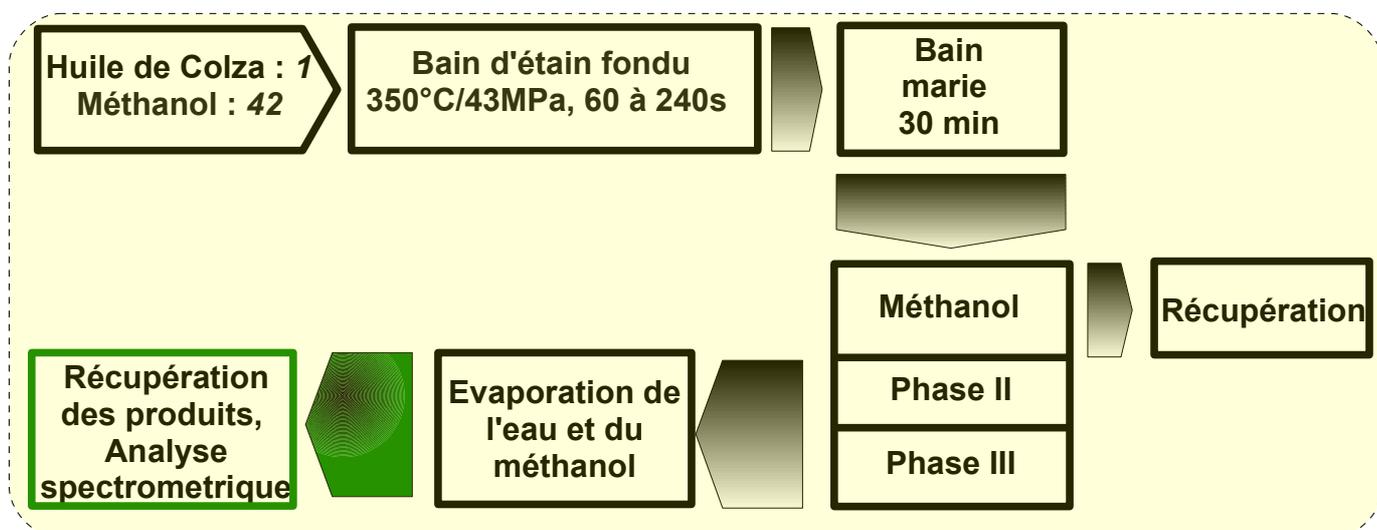


Figure 22

Cette méthode permet d'obtenir, sur une durée relativement courte, des rendements d'esters méthyliques supérieurs d'environ 1,5% à celui obtenu via catalyse alcaline. De plus, en appliquant la même méthode à l'huile de palme et aux huiles usagées, le rendement est là aussi supérieur à la fois à ceux obtenus via catalyse alcaline et acide. Quant à l'huile de palme usagée, le rendement est de 95,8% alors que la réaction ne se produit pas grâce les catalyses alcaline et acide.

Les recherches du professeur Saka ont ensuite abordé le remplacement du méthanol comme fluide supercritique par le carbonate de diméthyle¹³⁵. Cette nouvelle orientation s'inscrit dans une logique de développement durable puisque le fluide de remplacement est un solvant « vert »¹³⁶, à la différence des autres composés organiques analogues, toxiques et classés comme composés organiques volatils. Le rendement obtenu à partir de l'huile de colza est de 94% après 12 minutes de réaction sous 350°C et à une pression de 20MPa. Le procédé est le même que celui décrit dans la figure 22. La même proportion initiale 1:42 de solvant:réactif est utilisée. Enfin ce procédé permet de générer du glycérol, qui peut être ensuite valorisé sous forme de produits pharmaceutiques et cosmétiques.

D'autres solvants ont été étudiés, à l'instar de l'acétate de méthyle¹³⁷, qui permet via le procédé détaillé ci-dessous (figure 23), d'atteindre des rendements de 103%.

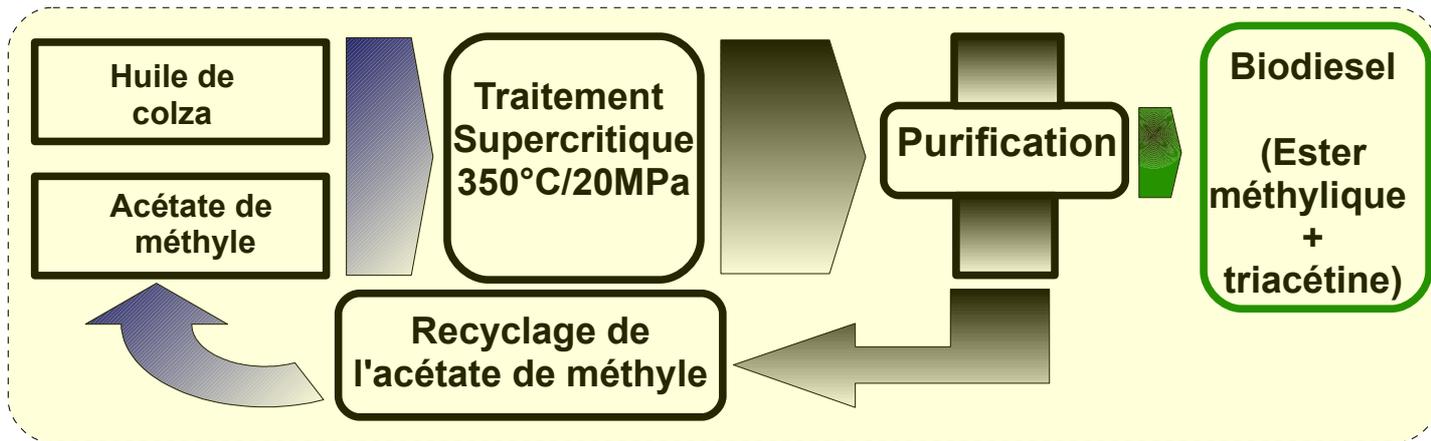


Figure 23

La présence de triacétine en fin de procédé pourrait être considéré comme un handicap. Or l'équipe du professeur Saka a montré que ce composé permettait d'améliorer la stabilité oxydative du biodiesel et que celui-ci répond aux critères de Kyoto quant au point d'écoulement*. Cependant la présence de triacétine diminue l'indice de cétane, ce qui requiert l'ajout d'additif afin d'améliorer ce paramètre.

Dans le but d'améliorer le rendement, et par là d'aboutir à un procédé plus efficace, les recherches se sont ensuite orientées vers un procédé diphasique (figure 24) combinant deux opérations de traitement. La première consiste en un traitement subcritique d'acide acétique et la seconde en un traitement par méthanol supercritique. Ce procédé permet d'obtenir du biodiesel sous des conditions expérimentales moins sévères que celles des procédés précédents. Il permet également d'obtenir un rendement de 117%.

De plus, les procédés précédents génèrent du glycérol. Or, si ce composé chimique est valorisable, celui issu de la production de biodiesel n'est pas rentable¹³⁸. Le prix de vente du glycérol se situe habituellement entre 1 et 1,5€/kg. Dans le cas du glycérol sous produit du biodiesel, ce dernier s'établit à moins de 0,1 €/kg, il n'est donc absolument pas valorisable.

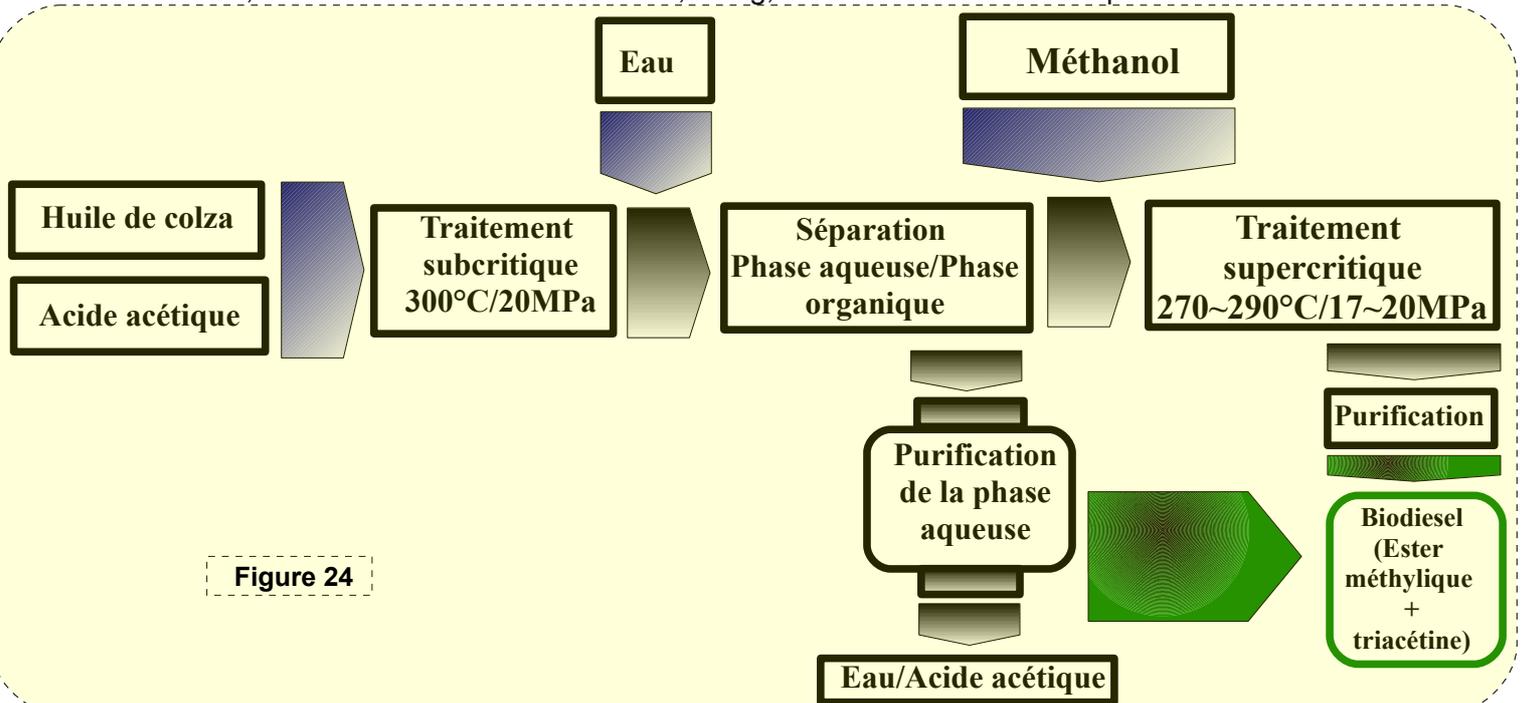


Figure 24

Enfin, les dernières recherches du groupe du professeur Saka se sont orientées vers l'utilisation d'esters carboxyliques. Il a montré que cette famille de molécules n'exhibe pas une réactivité suffisante conduisant à un rendement satisfaisant, à l'exception de l'acétate de méthyle¹³⁹. Ce dernier permet d'atteindre un rendement de 97,7%. Cette même étude a permis d'établir que le mélange ester méthylique d'huile végétale (EMHV) satisfait aux différents critères en place relatifs aux biocarburants, à l'instar des standards de Kyoto, comme le tableau 11 le montre clairement.

	Standards de Kyoto	EMHV/triacétine
Densité à 15°C	0,86-0,90	0,91
Viscosité cinématique à 40°C	3,5-5,0	4,7
Point d'écoulement	≤ -7,5°C	-20
Température limite de filtrabilité	≤ -5,0°C	-20
Point éclair	≥ 100°C	151,5
Résidus carbonique	≤ 0,30	0,01

Tableau 11

Dans ce second axe de recherche¹⁴⁰ l'équipe du professeur Saka s'emploie à ajouter un troisième composé aux deux réactifs de départ avant le traitement supercritique. Différents composés ont été testés : le dioxyde de carbone, le diazote ainsi que l'hexane. Les conclusions de cette étude permettent de montrer que, si l'apport de dioxyde de carbone n'améliore en rien le procédé, l'hexane entraîne une diminution du rendement. Seul le diazote permet d'améliorer le procédé en augmentant la stabilité oxydative et en diminuant la quantité de glycérol produite.

Ainsi le groupe du professeur Saka de l'université de Kyoto a contribué de manière significative à la recherche sur l'obtention de biodiesel, examinant progressivement les différents solvants pouvant être utilisés. Ces études ont permis d'affiner les procédés, jusqu'à obtenir des méthodes utilisant des solvants de plus en plus efficaces. Cette thématique d'utilisation de fluide supercritiques est de plus en plus importante dans la recherche sur les biocarburants et se révèle être une voie intéressante et originale

3.3.2. Les microalgues comme source du biokérosène du futur : l'exemple d'une spin-off universitaire innovante, *Research Institute of Tsukuba Bio-tech Corporation*

3.3.2.1. Les biocarburants et l'aéronautique : une voie encore peu explorée

Si la majorité des recherches présentées dans ce dossier se concentrent sur le développement de biocarburants pour l'automobile, l'aéronautique est également un domaine porteur pour ces derniers. Ils pourraient permettre de résoudre le double défi auquel l'aéronautique est confrontée actuellement.

Il s'agit d'abord d'un défi énergétique et économique, à savoir le « peak oil » que la majorité des acteurs industriels et académiques situent au plus tard à 2030 et qui entraînerait une forte hausse du prix du pétrole et donc du kérosène*. Le défi est également environnemental et technologique puisqu'avec l'augmentation constante du trafic aérien mondial, les émissions de CO₂ et d'autres composés nocifs (NO_x...) ne cessent d'augmenter (1kg de kérosène relâche 3,5kg de CO₂), contribuant ainsi au réchauffement climatique. Actuellement le progrès technique ne

parvient pas à innover de manière suffisante pour compenser la hausse des émissions de CO₂ (les innovations actuelles ne permettent que de diminuer les valeurs suivantes d'une faible amplitude : SFC* ~ -1% par an, NO_x ~ -7% par an, insuffisantes par rapport à l'augmentation des émissions de CO₂)¹⁴¹.

Les biocarburants ne constituent pas une panacée à ce double défi, mais ils peuvent contribuer à le résoudre. D'autres solutions peuvent être envisagées, à l'instar des types de carburants comme l'hydrogène liquide ou le développement de moteurs moins énergivores.

Le prix de revient d'un biocarburant aéronautique sera bien plus conséquent que celui du kérosène actuel, de l'ordre de 5,8\$ à 36,5\$ par gigajoule au lieu de 4,6\$ par gigajoule pour le kérosène. Ce surcoût s'explique par le fait que ces biocarburants doivent répondre à un cahier des charges plus strict que celui de l'industrie automobile¹⁴² :

- Un point de congélation très bas, inférieur à -51°C,
- Une importante stabilité thermique,
- Etre fortement énergétique.

Leur utilisation dans l'aéronautique est assez récente puisque le premier vol commercial opéré (en partie) grâce à des biocarburants, date de juin 2011 (KLM, Amsterdam → Paris). Quant au premier vol opéré grâce à du biocarburant algal, celui-ci date de novembre 2011 (Continental Airlines, Houston → Chicago).

Sur le plan institutionnel, les différentes instances occidentales ont lancé des initiatives visant à mettre en place une filière de production de biocarburants pour l'aéronautique (tel l'Union Européenne, qui vise une production de 2 millions de tonnes par an¹⁴³, ou les Etats-Unis, via des compagnies telles que Boeing). Quant au Japon, c'est via différentes compagnies que cette recherche s'effectue, financée par des bourses du gouvernement japonais, à l'instar du MAFF.

C'est une de ces compagnies, le RITB, et ses recherches, qui sera présentée par la suite.

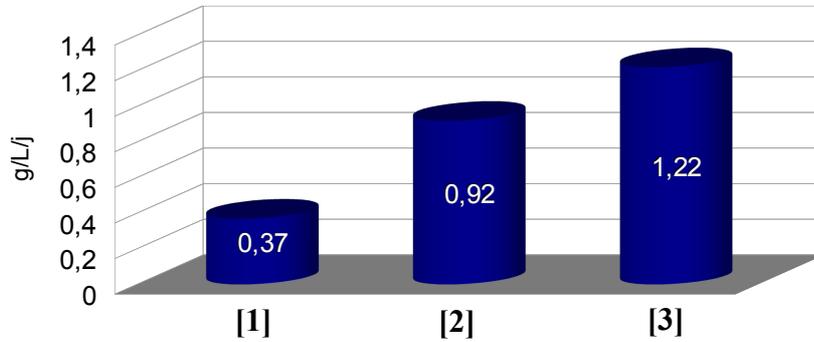
3.3.2.2. Research Institute of Tsukuba Bio-tech Corporation, une spin-off innovante



L'entreprise, fondée en mai 2004 par le professeur Maekawa de l'université de Tsukuba est dotée d'un capital de 56,8 millions de yens (soit 512 000 euros) au 22 juillet 2011. Son activité principale concerne la culture de microalgues pour différentes applications, au nombre desquelles figure la production de biogaz et de biocarburants à la fois pour l'automobile et pour l'aéronautique, ainsi que des molécules à haute valeur ajoutée pour l'alimentaire¹⁴⁴.

Afin de produire du biocarburant, différentes algues ont été étudiées par le RITB, telles que *Scenedesmus dimorphus*, *S. quadricauda*, *Tsichoris galbana* et enfin *Euglena gracilis*. Parmi celles-ci, c'est la dernière qui a été choisie par la compagnie et le MAFF pour être étudiée de manière intensive, notamment en raison de la forte teneur en acides gras libres (de l'ordre de 20~30%). Cette étude fait l'objet d'une aide de 4 millions d'euros sur deux ans.

Figure 25 : Objectif quotidien de production [25~28°C]



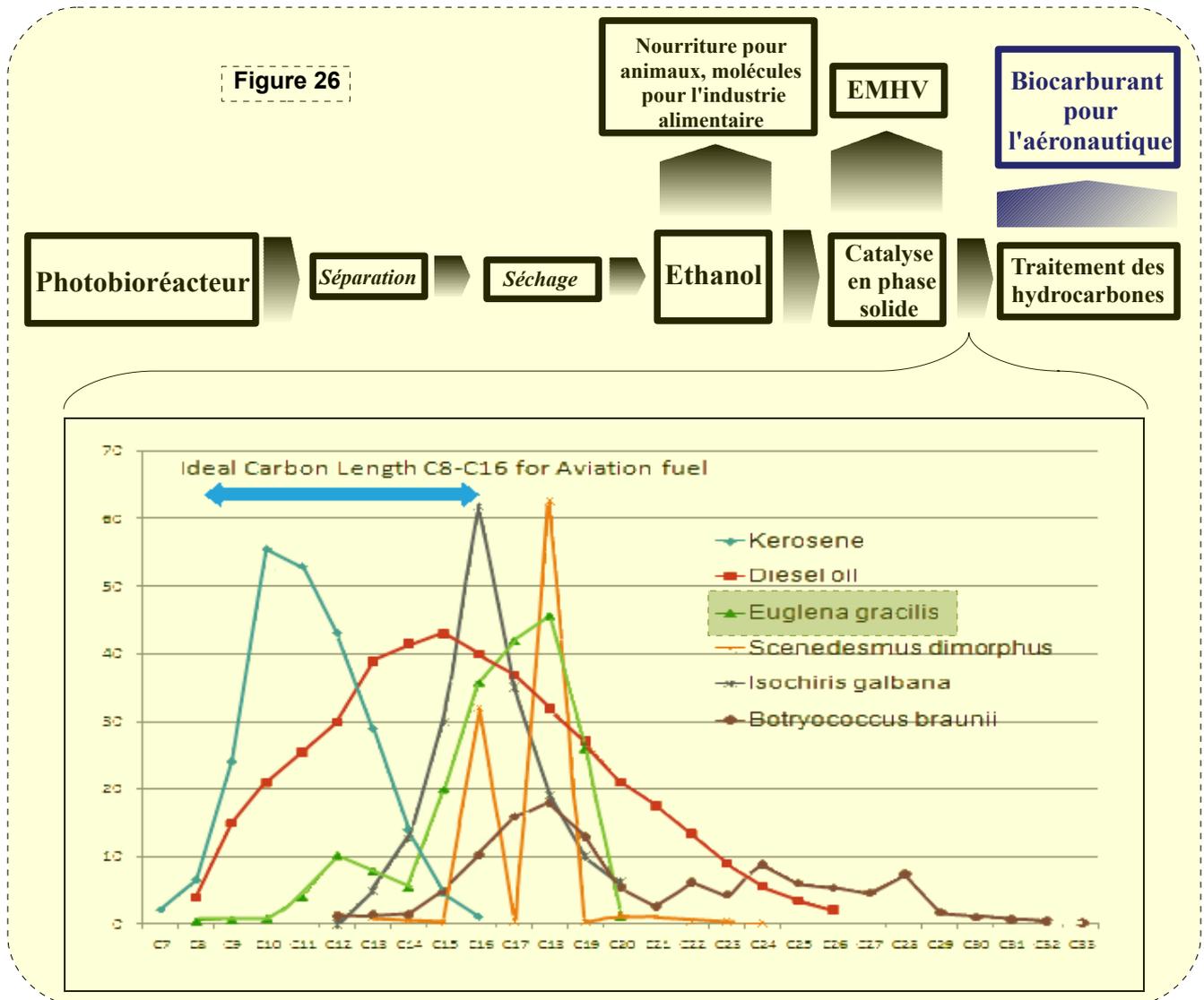
[1] : Production quotidienne sous conditions de culture normales

[2] : Production quotidienne sous lumière artificielle

[3] : Production quotidienne sous lumière artificielle et apport de nutriments

Un procédé de culture en photobioréacteur est en cours de développement, des tests ayant été effectués en laboratoire. L'objectif représenté sur la figure 25 est de parvenir à une valeur de 1,1~1,2 grammes de matière sèche par litre et par jour^{145,146}.

Le procédé développé par la compagnie est présenté schématiquement sur la figure 26 :



Les courbes de la figure 26 montrent clairement que les hydrocarbures issus d'*E. Gracilis* ne peuvent pas être directement utilisés. Il s'agit en effet de coupes en C₁₈, qui ne correspondent pas au domaine des carburants pour l'aéronautique (flèche bleue).

Un procédé de conversion est donc nécessaire afin de rentrer dans la fenêtre des coupes [C₆-C₁₆].

L'objectif de la compagnie est d'arriver à une production annuelle de 270 kl avec un photobioréacteur de 3000m³, comme le résume le tableau 13:

Produits	Valeur	Production
Biodiesel	143 000 €	270kl
Nourriture pour animaux	254 000 €	288t
Nourriture	762 000 €	288t
Consommation de CO2	32 000 €	1 800t
Total	1 191 000 €	-

Ces valeurs sont basées sur un rendement de 1kg/m³/jour

Tableau 12

Bien qu'il ne s'agisse que d'un projet, et que les valeurs présentées ici ne soient pas encore vérifiées à grande échelle. Cette initiative intéressante mérite d'être soulignée. De plus, si la culture des microalgues pouvait être généralisée à plus grande échelle sur ce même modèle, elle répondrait à de multiples problèmes qui touchent le Japon. Il existe actuellement 400 000 ha de terres agricoles abandonnées dans l'archipel. Si un quart seulement de ces terres étaient dédiées à la culture de microalgues, cela générerait 28 milliards d'euros de revenus. Cela permettrait en même temps de lutter contre la désertification rurale qui s'accélère dans une grande partie du pays en générant 42 000 nouveaux emplois. Ceci permettrait enfin de réduire les émissions de dioxyde de carbone de 25% pour le Japon.

4. Perspectives futures au Japon

Si la grande majorité des projets décrits précédemment traite de travaux de recherche ayant déjà abouti ou étant sur le point d'y arriver, dans ses programmes le gouvernement japonais s'engage aussi dans une vision à plus long terme.

C'est via une action conjointe de la NEDO, d'acteurs universitaires et d'entreprises que cette action est menée. Elle vise à une utilisation à grande échelle des technologies ainsi développées à l'horizon 2030. Deux axes majeurs se dégagent de cette action :

- Les microalgues
- Le BTL

4.1. Les microalgues

Cet axe de recherche est fondamental en raison de l'énorme potentiel dont les microalgues disposent et qui n'est pas encore exploité. Leur premier avantage est qu'elles n'occupent pas d'espace qui pourrait être dédié à la culture de plantes alimentaires (à l'instar des biocarburants de seconde génération) ni des plantes alimentaires (à l'instar des biocarburants de première génération). De plus, les sous-produits de la culture des microalgues sont valorisables dans des domaines à haute valeur ajoutée, comme les cosmétiques ou l'industrie agroalimentaire. Ceci permet de rentabiliser le procédé d'obtention de biocarburants, qui n'est généralement pas ou peu rentable en raison de son fort prix de revient. On peut distinguer deux axes de recherche majeurs dans ce domaine : d'abord celui qui s'intéresse à l'amélioration ou la mise en place d'un procédé d'obtention de biocarburants à partir des microalgues, ensuite celui qui étudie la modification génétique ou moléculaire des microalgues afin d'obtenir un meilleur rendement.

4.1.1. La mise en place du procédé

Le premier projet^{147,148} porte sur la mise en place d'un procédé complet d'obtention de biodiesel grâce au concept de symbiose : il s'agit ici de combiner l'utilisation de microalgues et de bactéries. Ces dernières présentent un intérêt tout particulier, qui est celui d'éliminer la concentration maximum des microalgues, afin d'obtenir un meilleur rendement. Le second aspect intéressant du projet réside dans la croissance hétérotrophique des algues, le but final étant d'atteindre un rendement de 25 l/m² par an à l'horizon 2030.

Un second projet^{147,149} concerne la mise en place d'un procédé de culture de *Botryococcus braunii*, algue sur laquelle nombre de recherches s'étaient concentrées dans les années 1990 en raison du fort rendement en hydrocarbures qu'elle peut produire. Le point sur lequel se concentre ce procédé (figure 27) est l'amélioration de l'étape d'extraction des hydrocarbures par un traitement thermique. Ce dernier permettrait de ne pas recourir à une étape de séchage, fortement énergivore.



Un troisième axe de recherche concerne les drops-in fuels. Ils pourraient représenter l'avenir des biocarburants, dans la mesure où ils peuvent être directement utilisés à la place du pétrole^{149,150}, économisant par là un procédé de conversion énergivore et onéreux. Ce procédé¹⁵¹ peut être enfin utilisé pour générer des carburants exploitables par l'industrie aéronautique autant que par l'industrie automobile. Conduit par l'entreprise Idemitsu, le projet de recherche comporte trois volets différents : le premier consiste à développer un procédé de conversion de l'huile brute issue des microalgues en un drop-in fuel, le second en la simplification de l'étape de purification de l'huile brute et le troisième en l'optimisation du procédé (figure 28).

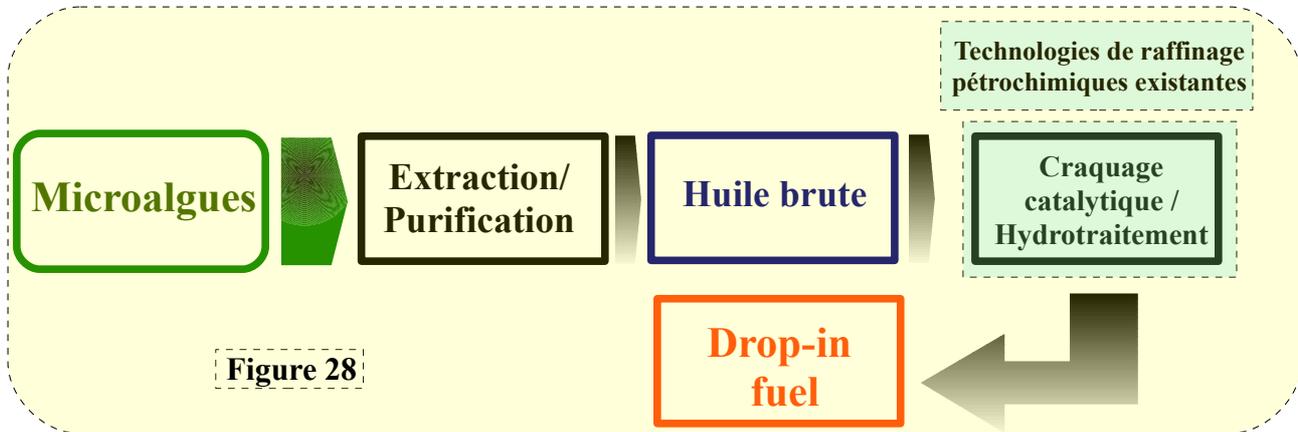


Figure 28

4.1.2. Modification génétiques et moléculaires

Le second volet de la recherche sur les microalgues concerne une action directe sur les algues elles-mêmes et non plus sur le procédé d'obtention du biocarburant.

Une de ces thématiques concerne la recherche sur les diatomées, c'est-à-dire les algues du genre *bacillariophyta*¹⁵². Ces dernières sont particulièrement intéressantes en raison de leur forte teneur en hydrocarbures. Le but ici est d'agir directement sur le gène responsable de la synthèse des hydrocarbures via un virus algal (figure 29).

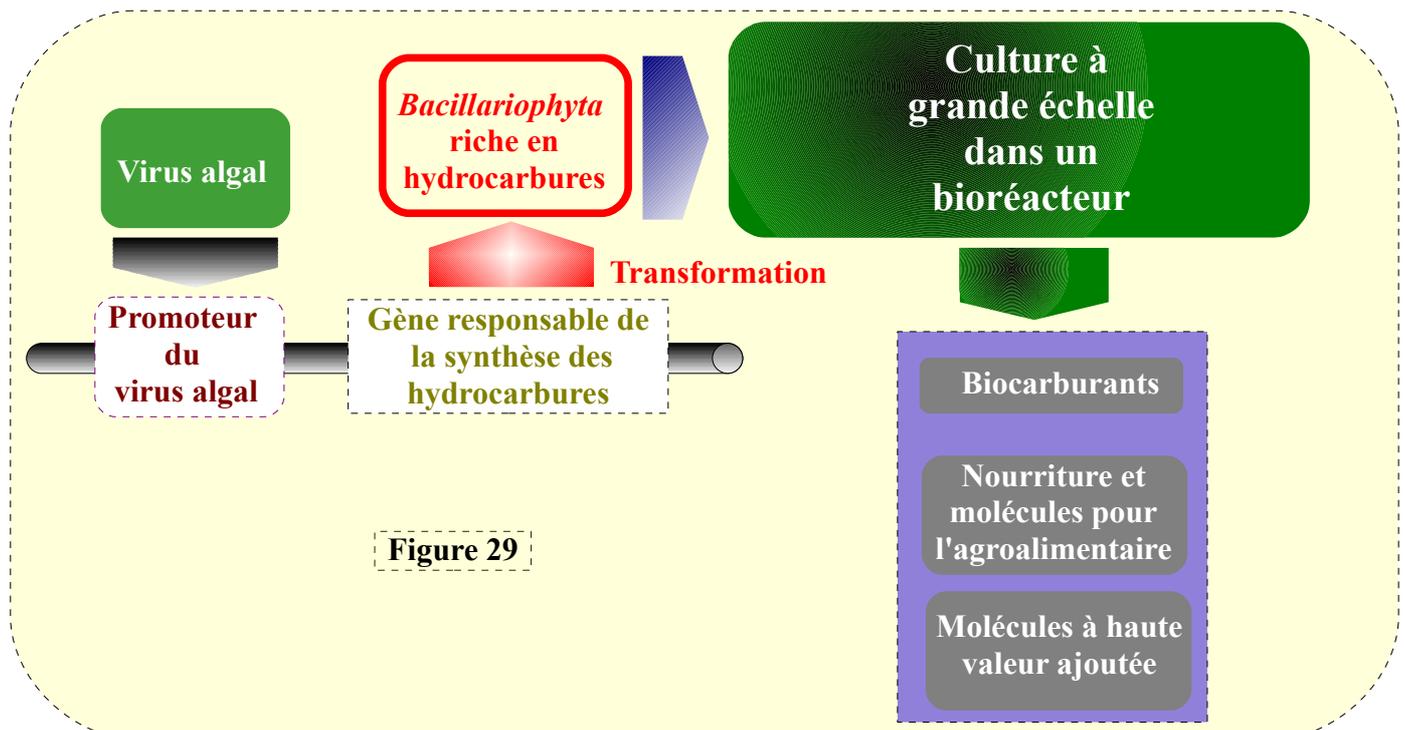


Figure 29

Dans une direction différente visant à obtenir des algues produisant une plus grande quantité d'huile, un groupe d'industriels et d'académiques¹⁵³ a choisi d'étudier *Pseudochoricystis Ellipsoidea* via trois différents mutants caractérisés par leur :

1. Faible teneur en chlorophylle
2. Absence de paroi cellulaire
3. Accumulation d'huile de manière constante

Chacun des gènes relatifs aux différents caractères observés dans ces mutants sera identifié, puis après avoir développé un système d'auto-clonage, chacun des différents phénotypes sera incorporé au sein d'une seule cellule afin de produire une quantité d'huile plus importante.

4.2. Le BTL

La voie BTL (biomass to liquid, c'est-à-dire de la biomasse vers le biocarburant) est le nom générique donné au procédé qui, en plusieurs étapes, transforme la biomasse (de quelque nature que ce soit) en biocarburant. Il s'agit généralement d'un procédé de gazéification de la biomasse qui mène à l'obtention de syngas*.

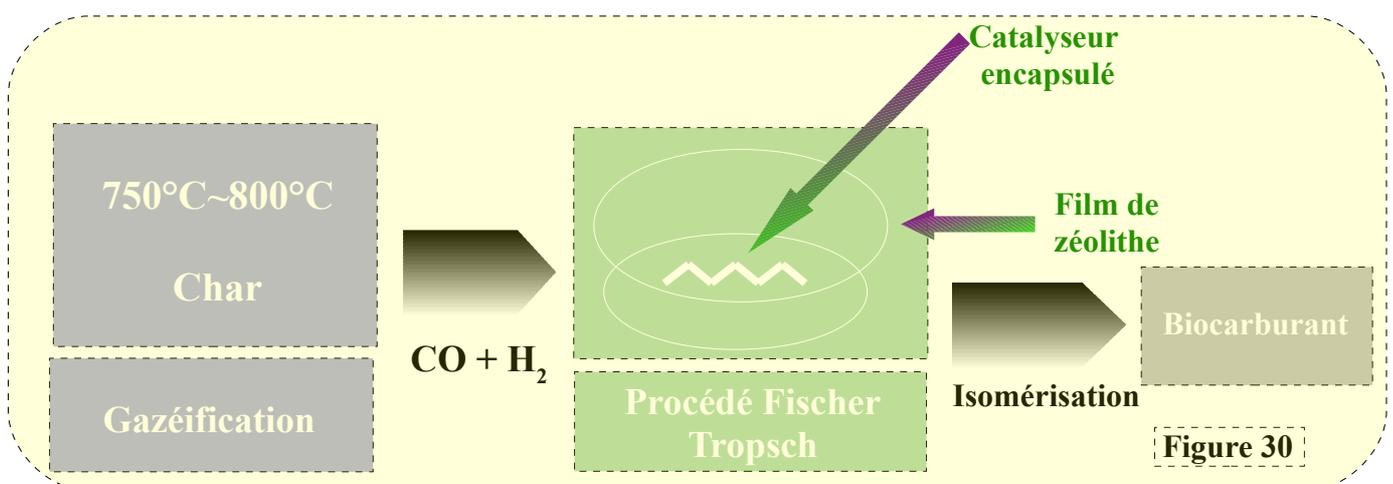
Ce dernier est ensuite transformé en biocarburant via le procédé Fischer Tropsch décrit plus haut. Les programmes de recherche sont présentés ci-après selon des thématiques qui pourraient conduire, dans les trente prochaines années, à des procédés BTL plus performants¹⁵⁴.

Comme pour le cas de la R&D sur les microalgues, on peut subdiviser les projets de recherche sur le BTL en deux catégories :

- Amélioration/mise au point d'un catalyseur.
- Amélioration du procédé.

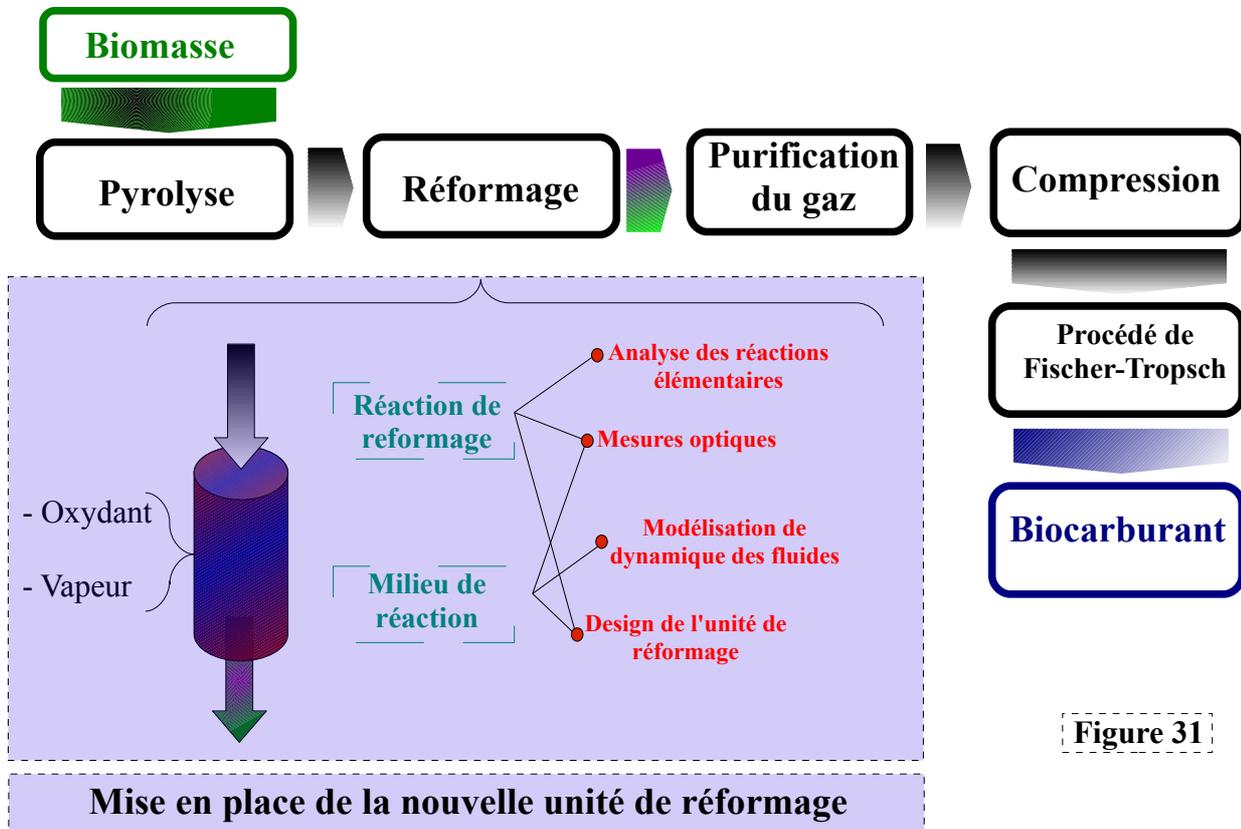
4.2.1. Amélioration/mise au point d'un catalyseur

S'il a déjà été évoqué et présenté précédemment, le procédé de Fischer-Tropsch est un sujet de recherche constant, ainsi que le catalyseur qui lui est associé. L'université de Toyama ainsi que différents partenaires industriels¹⁵⁵ concentrent leur efforts sur l'obtention d'un catalyseur encapsulé, doté d'une longue durée de vie, qui permettrait d'arriver à une synthèse du biodiesel en une seule étape (suivant le schéma représenté sur la figure 30). Ce projet s'accompagne du développement d'un réacteur de recherche supportant ce catalyseur.



4.2.1. Amélioration du procédé

La deuxième catégorie des projets de recherche s'intéresse à améliorer le procédé lui-même. Celui-ci (figure 31) comportant plusieurs étapes, chacune d'entre elles peut être sujette à des modifications, à l'instar du réformage du syngaz issu de la pyrolyse de la biomasse. Un des projets qui progresse dans cette direction¹⁵⁶ vise au design d'une unité de réformage de ce syngaz qui serait capable de traiter 100 tonnes de biomasse par jour.



De son côté, l'université de Toyama, en partenariat avec Micro Energy Co. Ltd cherche à mettre en place un procédé permettant d'obtenir du biocarburant dans des conditions de température et de pression moins extrêmes. Les acteurs de ce projet visent la réutilisation du gaz d'échappement issu du procédé Fischer-Tropsch. Il s'agit ici, contrairement à l'exemple précédent, d'agir à différents niveaux du procédé, de l'amélioration du système de gazéification jusqu'à l'obtention du biocarburant.

5. Les villes et les biocarburants :

Une thématique qui s'inscrit dans une vision plus globale de la réorganisation urbaine

5.1. Les eco-cités du futur

Si le gouvernement japonais a bien pris conscience de la nécessité de réorganiser les modèles urbains, il reste maintenant à les définir et à faire en sorte qu'ils soient adaptables aux nombreuses villes de l'archipel dans un premier temps, avec l'ambition d'exporter ces modèles aux autres pays asiatiques. Cette prise de conscience s'est concrétisée par une initiative du Cabinet du premier ministre qui, en février 2012, a annoncé la liste finale des 5 « éco-cités du futur ». Ces villes auront toute liberté pour établir des réformes tant sur le plan de la santé, de la fiscalité que de l'administration. Réparties de l'île septentrionale d'Hokkaido à la cité méridionale de Kita-Kyushu, elles ont été choisies afin de proposer des modèles urbains répondants aux différentes problématiques auxquelles le Japon est confronté. De plus, à cette liste de cinq cités ont été ajoutées six villes de la région dévastée par les événements du 11 mars 2011, s'inscrivant par là dans le programme national de revitalisation régionale lancé par le gouvernement. Le choix opéré couvre la quasi-totalité de l'échelle urbaine japonaise, depuis la communauté rurale de Shimokawa à la métropole portuaire internationale de Yokohama, en passant par la ville de taille intermédiaire qu'est Toyama :

- **Shimokawa** (Hokkaido, 3700 habitants) représente le **Japon agricole qui cherche à exploiter ses ressources sylvestres** (qui recouvrent 90% de la commune et 67% du Japon), notamment via l'utilisation de chaudières et la transformation de la biomasse ligneuse. Le but visé est une indépendance énergétique totale en 2018 et un volume d'exportation de produits liés à l'exploitation forestière de 3 milliards de yens en 2015 permettant de financer une allocation de santé de 60 000 yens par an pour chaque résident âgé de plus de 65 ans (6000 euros).
- **Toyama** (Japon de l'envers, 420 000 habitants) représente le **Japon des villes moyennes et des centres décisionnaires** où le développement urbain est basé autour des transports en communs (intermodalité tramway/bus/ train, piétonisation des espaces urbains pour les personnes âgées) en encourageant financièrement les constructions autour des gares et arrêts de bus.
La conservation et la création d'espaces forestiers et agricoles à l'intérieur de la ville sont fortement encouragées afin de maintenir un « esprit villageois ».
L'industrie et la recherche ne sont pas en reste puisque la ville met l'accent sur l'industrie pharmaceutique en visant des exportations d'une valeur de 268 milliards de yens à l'horizon 2018 (soit 2,5 milliards d'euros, une augmentation de 65% par rapport à 2009)
- **Kashiwa** (Banlieue de Tokyo, 405 000 habitants) représente le **Japon des faubourgs industriels métropolitains** qui investit dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre en encourageant le cyclisme et l'installation de compteurs intelligents, ainsi que l'amélioration du système de distribution de l'électricité entre les villes voisines.
Le soin aux personnes âgées est intégré à la ville par la création à l'horizon 2016 de 7 centres de santé locaux.
Enfin les partenariats industrialo-académiques sont encouragés par la mise en place d'un système de taxation facilitant leur établissement. Une coopération accrue entre les établissements d'enseignement supérieur de la ville et les universités du reste de l'Asie est soutenue.

- **Kita-Kyushu** (Sud du Japon, 980 000 habitants) représente le **Japon des métropoles régionales** qui investit fortement dans la transformation en une cité environnementalement durable. Cette orientation se traduit par le but affiché pour 2025 de diminuer la production de gaz à effet de serre de 32%, des ordures de 11%, d'augmenter le taux de recyclage de 10% et de verdier la cité en plantant de nombreux arbres.

A Kita-Kyushu comme ailleurs au Japon se pose le problème de l'hyper vieillissement de la population ; et la ville compte y répondre en augmentant de 10% la participation des personnes âgées aux initiatives locales telles que la plantation d'arbres et par un recentrage des équipements de santé au niveau local. Kita-Kyushu est aussi une métropole de pointe dans l'investissement dans les énergies renouvelables (hydrogène...). Elle intègre l'industrie et le monde des affaires dans cette dynamique verte en se fixant comme objectif de multiplier par 100 les projets dans ce domaine en 2025 par rapport à ce qu'il était en 2010.
- **Yokohama** (Grande Métropole Tokyoïte, 3,7 millions d'habitants) représente le Japon des métropoles de rang mondial tournées vers l'international. La seconde ville de l'archipel vise une transformation en une cité compacte organisée autour de transports redéveloppés (régénération de lignes ferroviaires abandonnées...) et de bâtiments où les services de santé seraient intégrés à la vie quotidienne et où les différents étages de la pyramide des âges seraient présents.

L'aspect énergétique est présent via la mise en place à l'échelle de la communauté (quartier, zone industrielle) d'un système de gestion de l'énergie qui inclut les citoyens dans le processus décisionnel.

L'accent est mis sur l'innovation dans les sciences de la vie et le développement d'un système de partage de véhicules électriques.

Enfin, il faut ici mentionner les six cités toutes localisées dans le Nord-Est de l'archipel nippon qui verront se mettre en place des modèles de régénération urbaine. A l'instar de leurs analogues préalablement mentionnés, les projets environnementaux (énergies renouvelables, communautés intelligentes) et la réorganisation de l'espace urbain autour du troisième âge structurent les efforts entrepris dans ces villes. Si certains aspects sont communs à ces six communautés (installation d'éoliennes, usines de batteries et de fabrication de panneaux solaires), d'autres paramètres rendent chacune de ces communautés urbaines spécifiques. Il en va ainsi de la réhabilitation de mines abandonnées afin de générer de l'électricité à Kamaishi, de l'accent mis sur le modèle danois à Higashimatsushima ou de la présence de radioactivité à Minamisoma qui complexifie tout effort de reconstruction.

Si cette initiative est un grand pas dans la bonne direction (par les thématiques abordées, la diversité des modèles envisagés ainsi que la liberté accordée aux villes), il reste à voir dans une dizaine d'années si elle se concrétise par la création de modèles urbains viables et transposables vers d'autres villes.

5.2. Les biomass-towns

5.2.1. Le concept de biomass-town

Le label de « *biomass-town* » a été créé par le ministère de l'environnement en 2005, date à laquelle il a été attribué à 5 villes¹⁵⁷ qui se sont engagées à respecter une charte établie par le MAFF. Ce chiffre s'est depuis étoffé puisque plus de 300 villes à travers l'archipel possèdent maintenant ce label^{158,159}. Étant attribué par le MAFF, il serait facile d'imaginer qu'il est réservé aux localités agricoles. En fait il en est autrement puisque des villes comme Kyoto (1,5 millions d'habitants) l'ont obtenu. La figure 32 présente une vue globale de l'organisation d'une « *biomass-town* ». Celui-ci est évidemment modulable, puisque dans le cas de Kyoto l'activité agricole est négligeable.

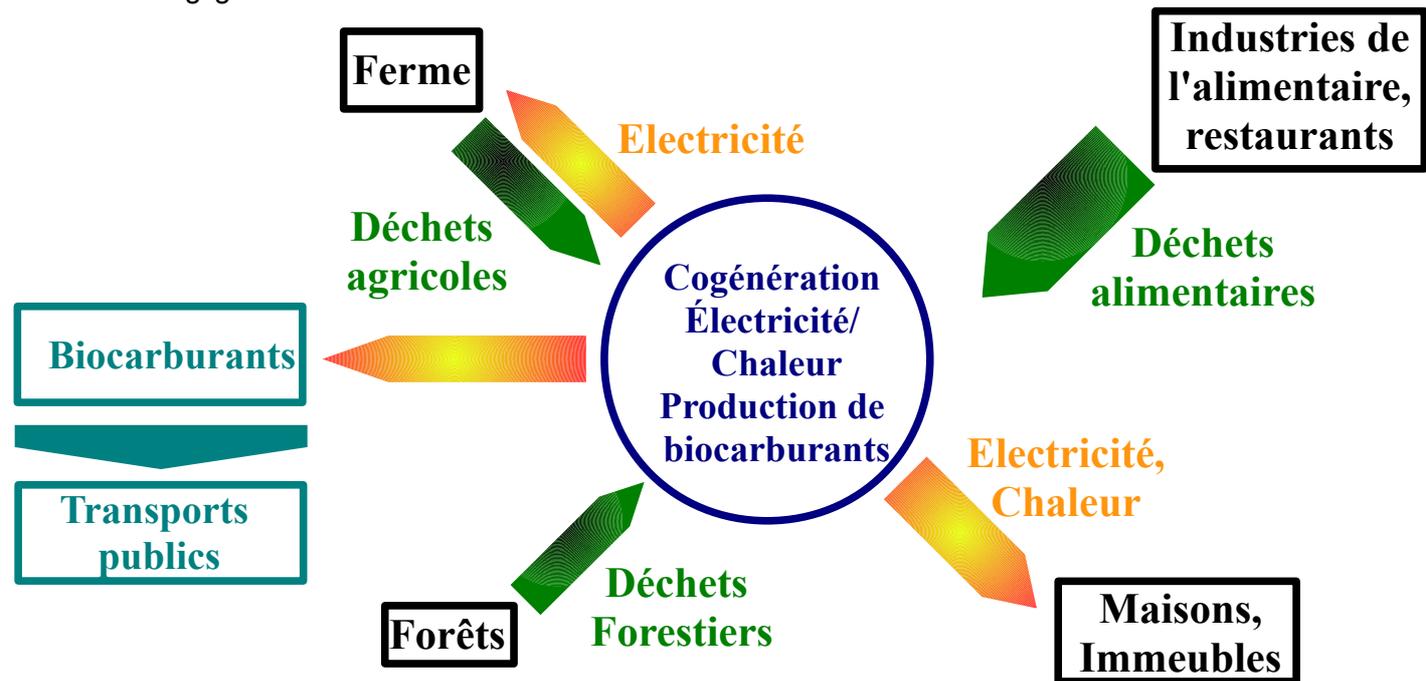


Figure 32

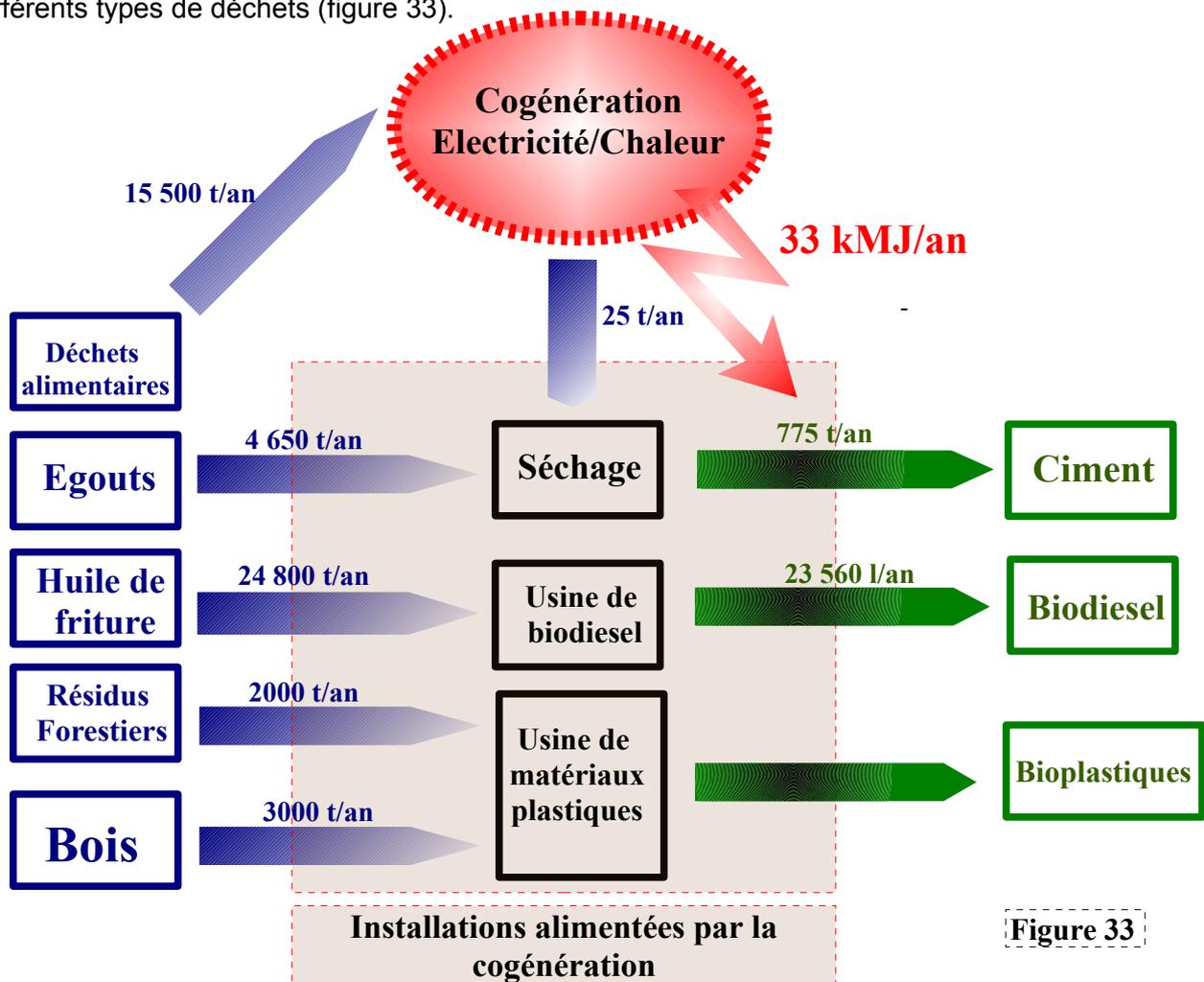
Il faut bien comprendre que ce concept de « *biomass town* » ne se limite pas exclusivement à un aspect technique et agricole, mais cherche en plus à impliquer et à informer un maximum de citoyens dans sa réalisation, à l'image de Kyoto où un système de récupération de l'huile de friture usagée a été mis en place, et permet de faire circuler 92 bus de ville et 15 camions poubelle.

Cette initiative correspond à la volonté du gouvernement de valoriser les terres arables abandonnées dans l'archipel, qui ne cesse d'augmenter à la suite de l'exode rural et du vieillissement de la population puisqu'il était de 343 000 ha (8,1% des terres arables totales du Japon) en 2000 et 386 000 ha (9,7%) en 2005.

5.2.2. Une biomass town : Joetsu, préfecture de Niigata

Joetsu est une cité de taille moyenne, peuplée de 202 000 habitants et située dans la région de Hokuriko, dans le Japon de l'envers traditionnellement caractérisé par une urbanisation plus faible que dans le reste de l'archipel et un climat plus rude, notamment en hiver. On y constate, comme dans le reste des villes de la région, un exode rural couplé à un vieillissement de la population.

La ville s'est engagée dans un plan de cogénération de chaleur et d'électricité à partir de différents types de déchets (figure 33).



Ce dispositif permet de réduire les émissions de dioxyde de carbone de 4600 tonnes par an et de faire circuler les camions poubelles municipaux. On voit bien ici qu'il ne s'agit pas d'une initiative révolutionnaire, mais elle n'est qu'un premier pas vers d'autres initiatives plus fortes.

5.2.3. Un concept que le Japon partage avec ses voisins :

l'exemple de la Thaïlande

Il faut bien comprendre que l'initiative, tout comme le projet des « écos-cités du futur » s'inscrivent dans une vision asiatique sinon internationale. En effet, le MAFF collabore avec de nombreux pays d'Asie du Sud-Est afin de mettre en place des biomass-towns. Il est bien entendu nécessaire d'adapter ce modèle à des pays qui n'ont pas le même niveau de développement que le Japon, mais l'expérience a montré que le modèle japonais est facilement transposable à des réalités différentes, à l'image du district de NaDuang, dans la préfecture thaïlandaise de Loei^{160,161} (figure 34).

Ce district est peuplé de 3500 habitants, dont plus de 70% de fermiers et s'étend sur 1560 ha. Confronté aux mêmes problématiques que certains districts ruraux japonais (vieillesse de la population, exode rural), le district de NaDuang s'est engagé à mettre en place une installation de production du biogaz à partir des excréments animaux, ainsi que d'un moulin récupérant de

l'huile de palme d'une capacité de 5 tonnes par heure et qui permet de générer 1500 tonnes de biodiesel par an et 3000 tonnes d'huile de palme (qui génèrent du compost, permettant ainsi de ne pas utiliser des fertilisants chimiques).

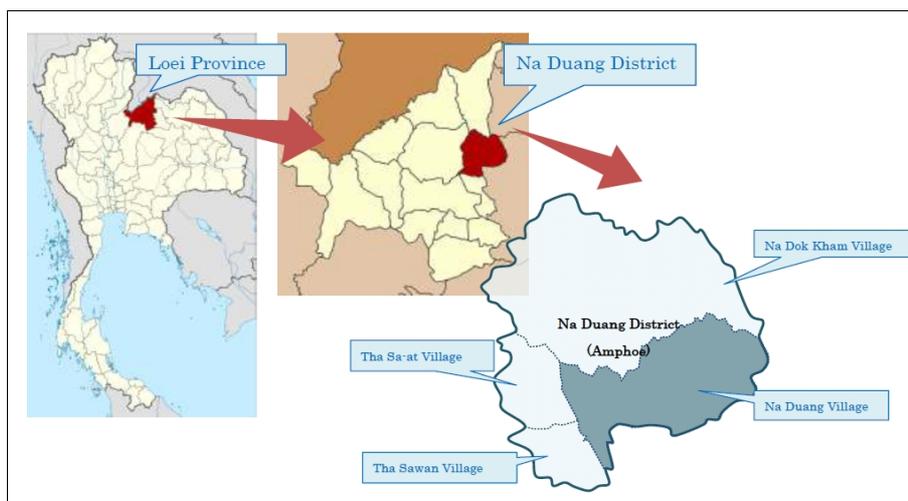


Figure 34 : Carte de situation du district de Na Duang

La coopération entre les autorités japonaises et étrangères est organisée en 3 étapes successives :

1. Identification des acteurs dans chaque pays (ministères, préfectures, villes).
 - Sélection du site de l'installation.
 - Organisation des groupes au niveau local.
2. Organisation des groupes de fermiers, quantification des différents types de biomasse disponible.
3. Études et design de la *biomass-town*.

Les différents exemples présentés plus hauts montrent bien comment le Japon intègre les différentes bioénergies dans les échelles urbaines via des projets qui, s'ils ne sont pas révolutionnaires en soi, permettront sans aucun doute d'améliorer le quotidien des habitants de tous âges (notamment en les impliquant et en les informant sur les actions de la commune) et de répondre partiellement aux problèmes qui touchent l'archipel. L'effort de coopération à l'international est louable, dans la mesure où il permet à des pays en voie de développement de profiter de l'expérience considérable que le Japon a accumulée dans de nombreux domaines.

6. Neo – Morgan Laboratory, une entreprise modèle de la recherche sur les bio-énergies



« Il a fallu 3,8 milliards d'années pour que des bactéries semblables à E. coli évoluent et aboutissent à l'être humain. Cependant, cela ne signifie pas que 3,8 milliards d'années supplémentaires seront nécessaires pour que le même processus évolutif ait lieu »

Dr. Furusawa, fondateur de la compagnie

6.1. Neo Morgan Laboratory

L'entreprise Neo-Morgan Laboratory [NML], basée dans la ville de Kawasaki (préfecture de Kanagawa) est une des jeunes entreprises les plus prometteuses dans le domaine des algues au Japon. Elle centre ses activités autant dans le bioéthanol que dans le biodiesel¹⁶².

Elle se base sur l'exploitation d'une méthode de mutagenèse*, développée par le Dr. Furusawa, intitulée « technologie de mutagenèse différentielle »^{163,164}. Cette dernière permet de reproduire les différentes mutations ayant lieu au cours du processus évolutif d'une souche de levure en un temps bien plus court que ce qui se déroule lors du processus naturel. NML structure son activité autour de deux piliers :

- Le premier consiste à travailler, via des contrats de recherche, pour des tierces parties qui souhaitent développer ou améliorer des souches pour différentes applications, qu'elles soient destinées aux industries alimentaires, cosmétiques ou celles des biotechnologies¹⁶⁵. Pour ces activités, l'entreprise dispose d'une plate-forme technologique lui permettant de répondre à la demande des clients de manière indépendante, à l'image de l'élaboration de la levure Xyno¹⁶⁶.
- Le second consiste à établir des partenariats entre NML et des entreprises capables de porter les résultats obtenus au laboratoire à plus grande échelle. C'est le cas de la coentreprise formée par NML, IHI et G>¹⁶⁷. Cette dernière a pour objectif de produire du biodiesel à partir de microalgues, elle sera décrite plus loin dans ce document.

Neo-Morgan Laboratory dispose, en 2011, d'un capital de 130 millions de yens (soit 1,2 million d'euros) et de plus de 50 clients et partenaires, situés au Japon aussi bien qu'à l'étranger.

6.2. La technologie de mutagenèse différentielle

Développée par le Dr. Furusawa, fondateur de NML, cette méthode de biologie permet à la fois d'augmenter la fréquence des mutations qui ont naturellement lieu lors de la réplication de l'ADN et de conserver l'ADN parental. Il en résulte une plus grande variété de mutants qu'avec la technique de mutagenèse conventionnelle, comme l'illustre la figure 35:

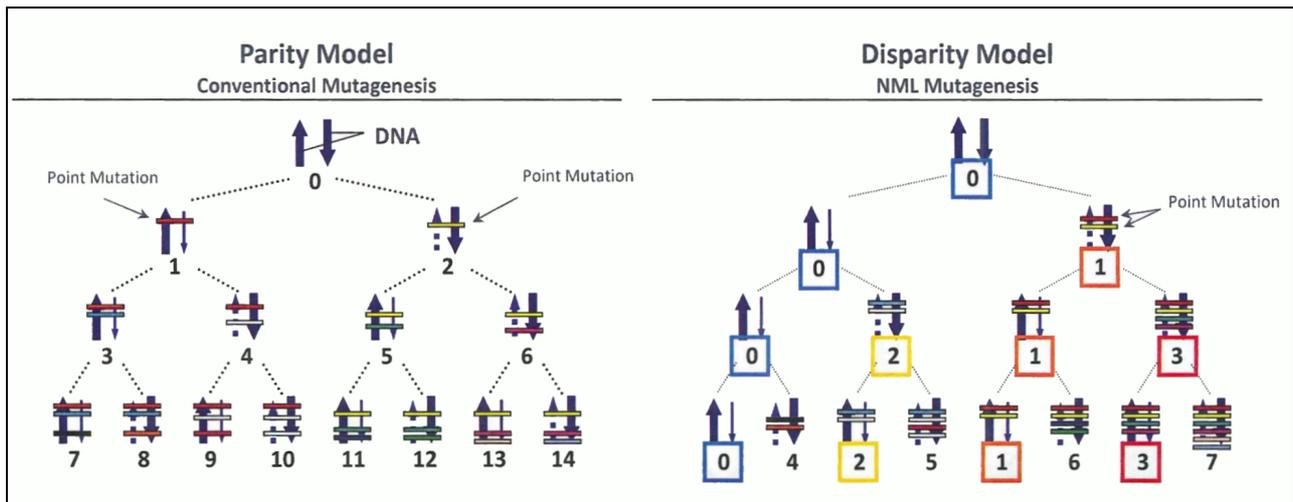


Figure 35

Le duo diversité/conservation observé ici est dû à l'absence de mutation sur l'un des brins d'ADN, permettant de conserver l'ADN parental (marqué « 0 »). En plus de présenter une plus grande diversité de mutants, cette technique a l'avantage de ne pas être aussi intrusive que les méthodes utilisées actuellement qu'elles soient chimiques (agents alkylants) ou physiques (par rayons X ou UV). La cytotoxicité des souches issues de mutagenèse différentielle (MD) est plus faible. Ainsi une souche modifiée via MD sera viable à plus de 95% tandis qu'une souche issue d'une modification chimique type EMS* aura une viabilité inférieure à 20%. De plus la MD ne présente pas la même diffusion de distribution statistique vis-à-vis de la diversité des mutants que les autres méthodes (le problème de la surreprésentation de la transition G:C->A:T dans le cas de l'utilisation d'agents alkylants comme le EMS peut être évité par MD).

Après la première génération des méthodes de mutagenèse différentielle basée sur l'utilisation d'un vecteur* (adaptée aux levures et *E.coli*) a succédé une seconde génération plutôt adaptée aux champignons et aux algues. Cette dernière répond surtout aux législations nationales (du Japon mais aussi à travers le monde) qui restreignent fortement l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés, en particulier pour des applications agroalimentaires ou cosmétiques. En effet, cette seconde génération de méthode de MD repose sur l'utilisation d'un cocktail de produits chimiques, exhibant la même faible cytotoxicité mais une fréquence de mutation légèrement inférieure.

6.3. L'application de la théorie de l'évolution différentielle à l'obtention de biocarburants

6.3.1 Les microalgues : Le biodiesel

L'application de la MD à la production de biodiesel par la culture de microalgues relève du second pilier de la stratégie de NML. C'est via la création de la joint-venture IHI NeoG Algae entre 3 sociétés, qui apportent chacune des compétences complémentaires que la production de biodiesel à l'échelle industrielle deviendra possible (tableau 14).

Entreprise	IHI	G>	NML
Nature de l'entreprise	Grand groupe industriel	Startup issue de l'université de Kobé	PME
Expérience	Établissement de la plus importante usine chimique au monde	Procédé de culture de l'algue <i>Enomoto</i>	Établissement de cultures d'algues de premier ordre
Tâche	Production à grande échelle	Développement des procédés de culture de <i>Enomoto-mo</i> et du milieu de culture	Industrialisation du microbe

Tableau 13

IHI NeoG Algae, dotée d'un capital de 260 millions de yens, vise la production de biodiesel par l'exploitation d'une algue nommée *Enomoto* en l'honneur du prof. Enomoto de l'université de Kobe (président de l'entreprise G>)¹⁶⁸. Cette algue est une souche non-génétiquement modifiée issue de *Botryococcus** et a été présentée comme la souche disposant de la plus importante production de biodiesel à ce jour.

Enomoto :

- Algue phototrophe
- vitesse de croissance : *1000 en un mois
- Densité supérieure à une souche normale
 - Méthode de culture à bas coût
 - Forte tolérance aux inhibiteurs

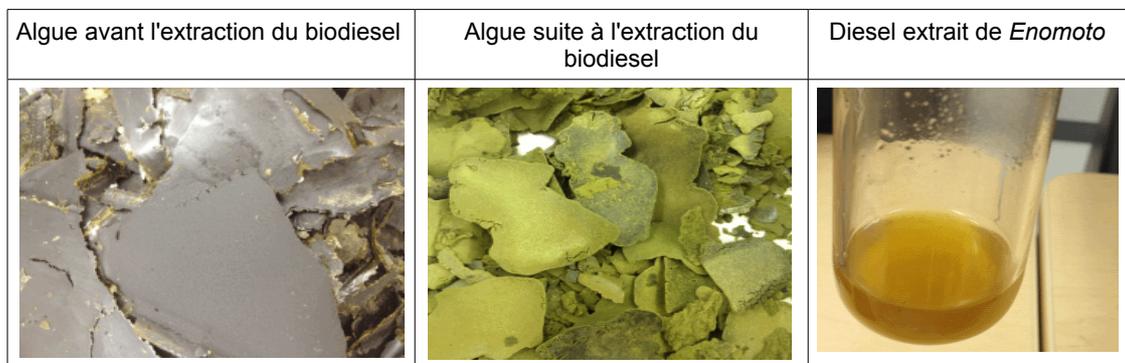


Figure 36

Pour l'instant, la productivité n'est de l'ordre que de 3g/l après 10 jours de culture. Près de 100% du biodiesel contenu dans l'algue peut être extrait par des solvants chimiques.

6.3.2. Le bioéthanol

L'aspect bioéthanol appartient au premier pilier de l'activité de la compagnie. Le développement de la levure, Xyno¹⁶⁹ obtenue grâce à la technique de mutagenèse différentielle, permet une fermentation simultanée du glucose et du xylose pour la production de bioéthanol.

Xyno :

- Fermentation simultanée du Xylose/Glucose en 20h
- Résistance aux conditions extrêmes (températures, pH, forte concentration en sucre)
- Rendement supérieur à 10%
- Seule levure dotée de ces 3 forces

6.3.3. Perspectives futures

L'entreprise, qui a commencé comme une startup, est en croissance rapide, puisqu'elle comptait 24 employés à la mi-2011 et 33 en mars 2012. Présente autant à l'intérieur des frontières du Japon qu'à l'international, et disposant d'une forte réactivité, Neo-Morgan Laboratory est très active dans le domaine des biocarburants, mais aussi dans d'autres domaines comme l'agroalimentaire ou les bioplastiques, qu'elle entend exploiter.

Enfin NML souhaite à l'avenir ne plus être dépendante de groupes industriels importants comme IHI pour mener à terme des projets nécessitant une infrastructure plus importante. Cette orientation stratégique prend par exemple la forme de l'implantation d'une ferme à Chikusei dotée de serres de culture et de cuves de 500 l, dans la préfecture d'Ibaraki (nord de Tokyo).

7. Conclusion

Il serait facile, pour qui n'effectuerait qu'un survol de la recherche mondiale sur les bioénergies, d'oublier le Japon puisqu'il n'apparaît pas au premier abord que ces dernières thématiques figurent comme axe prioritaire dans ce pays.

Mais il faut savoir aller au-delà de cette première impression et s'immerger dans les myriades d'initiatives tant gouvernementales qu'entrepreneuriales qui éclosent au Japon chaque année pour se rendre compte que les bioénergies ne sont pas oubliées dans l'archipel. Il faut saluer l'excellence de la recherche japonaise, qui permet de couvrir les différents aspects de la recherche depuis la culture d'espèces transgéniques particulièrement adaptées aux milieux difficiles que sont les terres arides, à la mise au point de carburants pour l'aéronautique en passant par l'amélioration de procédés à l'échelle de la cellule (saccharification...).

Il faut en outre signaler les différentes spécificités de l'archipel qui l'obligent à orienter ses politiques dans le domaine des bioénergies selon certains axes. On peut évoquer ici l'intégration de la composante urbaine dans la mise en place de directives nationales sur les bioénergies (à l'image des biomass-towns), et par là une volonté d'associer les citoyens et tout particulièrement des personnes âgées dans ces politiques.

Enfin s'il est souvent reproché au Japon de ne pas être assez ouvert à l'international, ce n'est pas ce qui transparaît dans ce domaine puisqu'à différentes échelles s'est mise en place une forte collaboration avec de nombreux partenaires à travers le globe, du Botswana à l'Asie du Sud-Est.

Ce dossier n'aspirant pas à explorer l'ensemble des spécifications techniques propres à toutes les recherches engagées, le rédacteur espère toutefois qu'il a pu dresser le panorama des efforts et initiatives engagées par le Japon dans le domaine des bioénergies.

Index des tableaux

Tableau	Page	Titre
1	9	Principaux pays producteurs de bioéthanol
2	12	Variations de la composition du biogaz en fonction de son origine
3	17	Origine des différents types de biomasse
4	24	Évolution des souches modifiées
5	26	Évolution des taux de saccharification suivants les différents traitements
6	26	<i>idem</i>
7	28	Rendement surfacique théorique selon les différents scénarios
8	36	Étapes du projet
9	46	Résultats numériques de l'étude
10	46	/
11	51	/
12	54	/
13	70	/

Index des illustrations

Illustration	Numéro de page	Titre
1	11	Schéma d'obtention du biodiesel
2	13	Sources d'énergie primaire au Japon
3	13	Production d'électricité au Japon
4	14	Schéma du triangle de fer
5	19	Organisation de la NEDO
6	20	Répartition des chercheurs de l'AIST par discipline
7	22	Domaines de recherche de la NEDO
8	22	Noix de Jatropha
9	23	Énergie nécessaire pour la production de biodiesel
10	29	Organisation du projet des universités d'Osaka et Shinju
11	30	/
12	33	Formule topologique du squalène
13	33	Culture de microalgues au sein du laboratoire du professeur Watanabe
14	35	Schéma du projet
15	36	<i>Aspergillus oryzae</i>
16	37	Schéma du système de cogénération d'éthanol ligneux
17	40	Schéma du procédé
18	40	/
19	42	Composition chimique de <i>F. crenata</i>
20	42	Schéma du procédé
21	47	/
22	48	/
23	49	/
24	50	/

Illustration	Numéro de page	Titre
25	54	Objectif quotidien de production [25~28°C]
26	54	/
27	57	/
28	58	/
29	58	/
30	60	/
31	60	Mise en place de la nouvelle unité de réformage
32	64	/
33	65	/
34	66	Carte de situation du district de Na Duang
35	69	/
36	70	/

Glossaire

A

ACC déaminase : Enzyme catalysant la réaction d'hydrolyse suivante :

$1\text{-aminocyclopropane-1-carboxylate} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{-oxobutanoate} + \text{NH}_3$

Elle est essentielle à la croissance des plantes via la régulation du taux d'éthylène.

Acétogène : Désigne un corps capable de produire de l'acétate à partir de dioxyde de carbone et d'hydrogène ou de glucides.

Agrobacterium : Désigne un genre de bactéries communes du sol, plus spécifiquement du sol rhizosphérique.

Allene oxyde cyclase : Enzyme isomérase appartenant à la famille des oxydoréductases. Elle catalyse la formation de (15Z)-12-oxophyto-10,15-dienoate.

Allylique : Terme se référant au groupe fonctionnel chimique $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-$.

Anaéorobique : Se dit d'une activité biologique qui ne nécessitant pas d'oxygène.

Azéotrope : Mélange liquide ayant une composition déterminée et présentant la propriété d'avoir une température d'ébullition unique et définie.

B

Botryococcus braunii : Espèce d'algues vertes de l'ordre des *Chlorococcales*. De nombreuses recherches conduites au Japon durant la « Sunshine Policy » se basaient sur l'utilisation de cette espèce d'algues.

Bombardement particulaire : Technique pouvant être utilisée afin d'introduire de l'ADN étranger à l'organisme à une culture cellulaire. Cette méthode repose généralement sur l'utilisation d'un « pistolet à gènes ». L'ADN à introduire est situé autour de particules de métaux lourds qui sont à même de franchir la paroi cellulaire.

C

Cellulose : Biopolymère linéaire qui constitue un des composants majeurs du bois (45% de sa masse sèche). Composé d'un monomère de β -1,2 galactoside représenté ci-dessous, il est le sujet de nombreux projets de recherche visant à améliorer son traitement biologique ou chimique.

Char : Partie solide résultant de la pyrolyse d'un combustible solide.

Choline oxydase : Enzyme oxydoréductases catalysant la formation de bêtaïne aldéhyde à partir de choline et d'oxygène.

D

Delignification : Traitement du bois ou des fibres végétales afin d'en séparer la lignine.

E

Eau subcritique : Eau à l'état liquide sous pression et à une température située entre le point d'ébullition (100°C) et la température critique (374°C). La solubilité des composés organiques augmente dans l'eau subcritique, permettant un grand nombre d'applications chimiques industrielles.

Electrophorèse : Technique utilisée pour séparer et caractériser des molécules (protéines ou des acides nucléiques) basée sur la migration et la séparation des molécules dans un milieu donné. Celui-ci est soumis à un champ électrique et la séparation se fait en fonction de leur charge électrique. Pour des charges identiques, elle se fait là en fonction de leur taille et de leur forme.

Electrophorèse à champ pulsé : Utilisée pour les molécules de poids moléculaire plus important (supérieur à 20kb), elle est basée sur l'alternance de l'orientation du champ électrique au cours du temps. Chaque changement de champ électrique réoriente la molécule dans le gel augmentant ainsi la probabilité que la molécule d'ADN soit orientée de façon à passer à travers les mailles du gel.

EMS : Le méthanesulfonate d'éthyle est un composé chimique qui est couramment utilisé en biologie afin d'opérer des mutations aléatoires par substitution nucléotidique en alkylant la guanine.

F

Feed-in-tariff : Système d'incitations financières destinées à faciliter les investissements dans les énergies renouvelables.

Fructane : Polymère du fructose, qui constitue la réserve glucidique de certaines plantes comme les Composées et les Graminées.

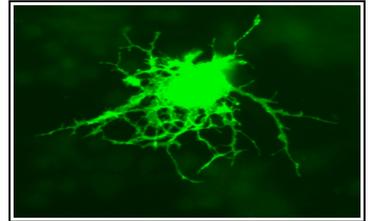
G

Gazogène : Appareil permettant de produire un gaz combustible à partir de matières solides et combustibles tels que le bois ou le charbon de bois.

Gazomètre : Réservoir servant à stocker le gaz à température ambiante et à une pression proche de la pression atmosphérique, c'est-à-dire autour de 1013hPa.

Gene Ontology : Projet de bio-informatique (<http://www.geneontology.org/>) visant à structurer, rendre accessible et enrichir la description des gènes et des produits géniques.

GFP : *Green Fluorescent Protein*, Protéine fluorescente verte issue de la méduse *Aequorea victoria*. Constituée de 238 acides aminés, la protéine se replie sous forme d'un tonneau. Très utilisée en biologie cellulaire, elle peut être fusionnée à d'autres protéines d'intérêt pour déterminer leurs localisations subcellulaires. Des protéines fluorescentes sont dérivées de la GFP et possèdent des propriétés physiques différentes, qui leur permettent de fluorescer dans d'autres couleurs.



Glucose : Le glucose est un sucre monosaccharide (ose) de la famille des aldohexoses. Il est naturellement présent dans l'organisme, mais est aussi un constituant de disaccharides et de polysaccharides (comme par exemple le saccharose). Le glucose est le sucre le plus utilisé dans le métabolisme cellulaire.

H

Hémicellulose : Famille de copolymères constituant la paroi pectocellulosique des végétaux, il est aussi l'un des principaux constituant du bois.

Hétérotrophisme : Relatif aux organismes capables de produire de la matière organique seulement via la biosynthèse végétale ou animale.

Hydrolytique : Relatif à une hydrolyse (rupture d'un composé chimique par l'eau)

I

Indice de cétane : L'aptitude à l'auto-inflammation d'un carburant pour moteur diesel est exprimée par l'indice de cétane. Dans ce type de moteur, on injecte le carburant sous haute pression dans l'air comprimé et l'inflammation naît spontanément après un temps très court, de l'ordre de 1 milliseconde. Ce processus est favorisé par l'accroissement du taux de compression qui peut varier entre 15 et 22, mais il faut en outre que le carburant présente une structure chimique favorable à l'auto-inflammation. Cette qualité s'exprime par l'indice de cétane.

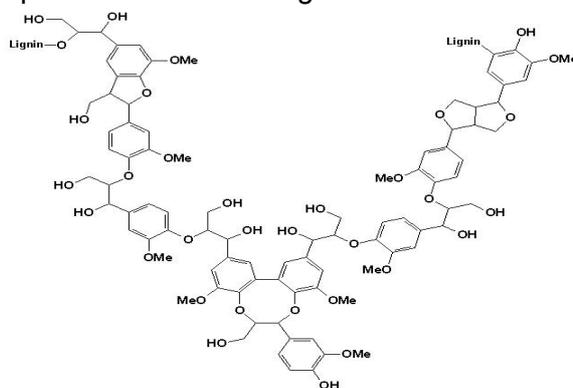
K

Kérosène : Mélange d'hydrocarbures produit par raffinage. Il est utilisé comme carburant pour les avions.

L

Lignée germinale : Ensemble de cellules qui ont la capacité de former des gamètes.

Lignine : Biopolymère composant principal du bois. Il se présente sous la forme d'un réseau tridimensionnel de phénylpropanes et procure aux végétaux rigidité, imperméabilité et résistance à l'eau.

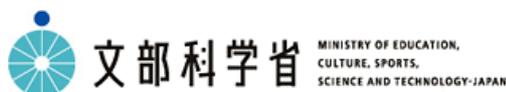


Lignocellulose : Biomasse composée de cellulose et hémicellulose liés fortement aux molécules de lignine.

Liquide ionique : Sels d'onium* dont la température de fusion est inférieure à 100°C.

M

MAFF : Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (農林水産省 *Nōrin-suisan-shō*)



METI : Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (文部科学省 *Monbu-kagaku-shō*)



MEXT : Ministry of Economy, Trade and Industry (経済産業省 *Keizai-sangyō-shō*)

Mutagenèse : Procédé qui consiste à introduire une mutation grâce à l'action de traitements physiques ou d'agents chimiques mutagènes.

N

NF-YB : Gène codant pour la protéine NFYB (Nuclear transcription factor Y subunit beta)

O

Osmoprotectant : Molécules organiques de faible masse moléculaire aidant les organismes à résister au stress osmotique.

Osmose inverse : Procédé par lequel l'eau passe au travers d'une membrane ultra fine, semi-perméable, éliminant les contaminants dissous dans l'eau.

P

P.C.R : Technique de biologie moléculaire. Réaction en chaîne polymérase. Méthode d'amplification génétique qui permet de créer un grand nombre de copies d'une séquence d'ADN ou d'ARN.

Pectinase : Enzymes capables de décomposer la pectine.

Pectines : Substance d'origine végétale utilisée comme épaississant dans l'industrie alimentaire et dans la fabrication des produits pharmaceutiques.

Phototropisme : Propriété d'un organisme vivant de s'orienter ou de se déplacer par rapport à la lumière.

Plastide : Organite caractéristique des cellules des végétaux supérieurs capable de fixer diverses substances et dans lequel peuvent s'accumuler des pigments, dont le plus important est la chlorophylle

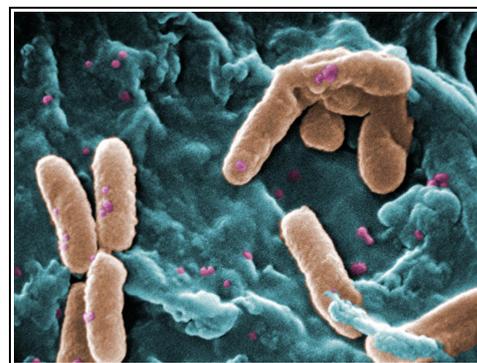
Point d'écoulement : Température à laquelle un produit commence à couler.

PPAT : Acronyme de **Phosphoribosyl Pyrophosphate Amidotransferase**. Gene codant pour l'enzyme glutamine phosphoribosylpyrophosphate amidotransferase. Cette enzyme est une enzyme régulatrice allostérique catalysant la première étape de la biosynthèse du nucléotide purine. Ce gène est situé sur le chromosome 4, proche du gène PAICS/AIRC.

Propagation clonale : Propagation asexuée de plusieurs nouvelles plantes (ramets) à partir d'un seul individu (ortet); toutes possèdent le même génotype.

Pseudomonas : Famille de bactéries ubiquitaires capables de produire des pigments, elle répondent aux critères suivants :

- bacilles à Gram négatif,
- aérobies stricts,
- capables de se multiplier sur milieux usuels,
- mobiles par ciliature polaire (sauf *Pseudomonas mallei*),
- possédant une oxydase,
- incapacité de fermenter le glucose.



Puce à ADN : Outil du génie génétique (connu sous le nom de *DNA microarray* en anglais) permettant de comparer les différences d'expression des gènes à l'échelle génomique.

R

Rhizosphérique : Relatif à la zone du sol proche des racines des plantes.

S

Saccharification : Processus de transformation en sucres fermentescibles (glucose, saccharose) de substances amylacées ou cellulosiques; résultat de ce processus.

Sel d'onium : Composés formés par l'association d'un anion et d'un cation, dont l'un des deux au moins est organique.

SFC : Specific Fuel Consumption, terme technique utilisé afin de quantifier le rendement énergétique d'un moteur par rapport à sa puissance ou sa poussée

Stress osmotique : Stress exercé sur un organisme (généralement sur les parois cellulaires) par le brusque changement de concentration du soluté (généralement concentration en sel). Il peut perturber de manière significative les processus biologiques ayant lieu au niveau de la membrane cellulaire.

Syngaz : Gaz de synthèse produit par thermochimie. Il est constitué de dihydrogène, de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures gazeux.

T

TBTS : (ULSD,Ultra-low-sulfur diesel) Fioul lourd dont le pourcentage massique du soufre est inférieur à 1%. C'est l'un des produits pétroliers les plus lourds avec le bitume.

Transcriptome : Ensemble des ARNs issu de l'expression d'une partie du génome d'un tissu cellulaire ou d'un type de cellule.

V

Vecteur : Molécule d'acide nucléique qui est utilisée pour transporter des fragments d'acide nucléiques étrangers. Ceux-ci seront ensuite introduits dans une cellule hôte.

X

Xyloglucanase : Classe d'enzymes catalysant la transformation du xyloglucane.

Xyloglucane : Hémicellulose, il constitue une partie de la paroi cellulaire primaire des végétaux.

Z

Zéolithe : Une zéolithe est un minéral microporeux appartenant au groupe des silicates, sous groupe des tectosilicates dans lequel il forme une famille comprenant des aluminosilicates hydratés métalliques.



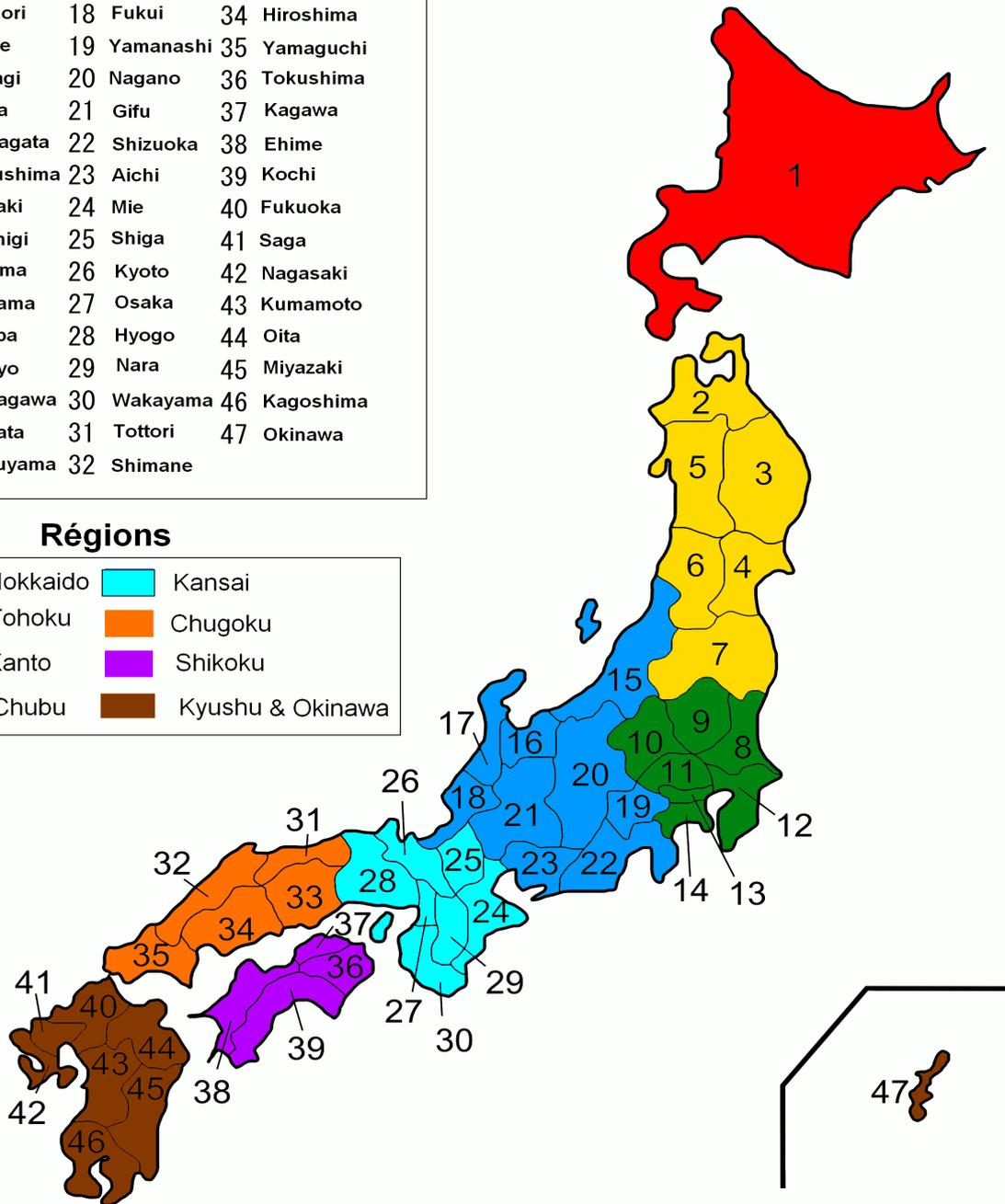
Carte du Japon

Préfectures

1 Hokkaido	17 Ishikawa	33 Okayama
2 Aomori	18 Fukui	34 Hiroshima
3 Iwate	19 Yamanashi	35 Yamaguchi
4 Miyagi	20 Nagano	36 Tokushima
5 Akita	21 Gifu	37 Kagawa
6 Yamagata	22 Shizuoka	38 Ehime
7 Fukushima	23 Aichi	39 Kochi
8 Ibaraki	24 Mie	40 Fukuoka
9 Tochigi	25 Shiga	41 Saga
10 Gunma	26 Kyoto	42 Nagasaki
11 Saitama	27 Osaka	43 Kumamoto
12 Chiba	28 Hyogo	44 Oita
13 Tokyo	29 Nara	45 Miyazaki
14 Kanagawa	30 Wakayama	46 Kagoshima
15 Niigata	31 Tottori	47 Okinawa
16 Fukuyama	32 Shimane	

Régions

■ Hokkaido	■ Kansai
■ Tohoku	■ Chugoku
■ Kanto	■ Shikoku
■ Chubu	■ Kyushu & Okinawa



Références

Code utilisé pour les langues des références :

- EN : Anglais
- FR : Français
- JP : Japonais

1. Avant propos

- 1 : [FR] *Protocole de Kyoto* : <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf>
- 2 : [JP] *Japan Renewable Energy Policy Platform* <http://www.re-policy.jp/jrepp/FIT-portal.html>
- 3 : [FR] Agence Nationale de la Recherche : <http://www.agence-nationale-recherche.fr/programmes-de-recherche/projets-selectionnes/bio-matieres-et-energies-2011/> ; 9ème projet sélectionné par la SNRI [*Développer des démonstrateurs de biocarburants de deuxième et troisième génération*]
http://media.enseignementsuprecherche.gouv.fr/file/grand_emprunt/66/1/29_propositions_pour_le_Grand_emprunt_national_121661.pdf
- 4 : [EN] *Japan Energy Brief*, IEE Japan, No. 16 : Novembre 2011, <http://eneken.ieej.or.jp/en/jeb/1111.pdf>

2. Les bioénergies au Japon, panorama général et politiques publiques

2.1. Les bioénergies

- 5 : [EN] *A note on Rising Food Crisis*, Donald Mitchell, *Banque mondiale*, (Juillet 2008). http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/2008/07/28/000020439_20080728103002/Rendered/PDF/WP4682.pdf
- 6 : [EN] *"Biofuels no panacea"*, European Environmental Bureau (Février 2006). http://web.archive.org/web/20080410052938/http://www.climnet.org/EUenergy/2006_EEB_BiofuelsStrategy.pdf

2.2. Le bioéthanol

- 7 : [EN] *Status of 2nd Generation Biofuels Demonstration Facilities*, Bacovsky, Dallos, Wörgetter, T39-P1b 27 July 2010
- 8 : [EN] *World Fuel Ethanol Production*, Renewable Fuels Association, <http://ethanolrfa.org/pages/World-Fuel-Ethanol-Production>
- 9 : [EN] *Ethanol Industry Statistics*, Renewable Fuels Association, <http://web.archive.org/web/20080408091334/http://www.ethanolrfa.org/industry/statistics/>
- 10 : [EN] *Japan to Focus on Next Generation Biofuels*, Global Agricultural Information Network, United States Department of Agriculture, Foreign Agriculture Service, Juin 2011 : http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/BIOFUELS%20ANNUAL_Tokyo_Japan_6-30-2011.pdf
- 11 : [FR] *La production de bioéthanol dans l'UE*, plateforme biocarburants <http://www.biofuels-platform.ch/infos/eu-bioethanol.php>, 2009
- 12 : [EN] *IEA Factsheet*
- 13 : [EN] *REN21 Renewable 2011 Global Status Report* : www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/GSR2011_Master18.pdf
- 14 : [EN] *Japan's Ethanol Introduction and Outstanding Issues*, Octobre 2007, The Institute of Energy Economics, Japan

2.3. Le biodiesel

- 15 : [EN] *Studies on biodiesels from transformation of vegetable oils for Diesel engines*. Bala BK. *Energy Edu Sci Technol* 2005;15:1-43
- 16 : [EN] *Transesterification of Vegetable Oils to Produce Biodiesel*, Mallory Paynich, *MMG 445 Basic Biotechnology eJournal*
- 17 : [EN] *Comparison of Transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats*, Ayhan Demirbas, *Energy Conversion and Management* 49 (2008) 125-130 [Anglais]

- 18 : [EN] Schuchardt et al, *Transesterification of Vegetable Oils : a Review*, *J. Braz. Chem. Soc.*, Vol.9, No.1, 199-210, 1998
- 19 : [EN] Chiffres issus du site de la plateforme biocarburants : <http://www.biofuels-platform.ch/infos/eu-biodiesel.php> , 2008
- 20 : [EN] REN21 Renewable 2011 Global Status Report
- 21 : [EN] Rapport du département américain de l'agriculture : http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/General%20Report_Tokyo_Japan_6-1-2009.pdf, 2008

2.4. Le biogaz

- 22,24 : [FR] Le Biogaz Energie Renouvelable, Site d'information sur le biogaz <http://www.biogaz-energie-renouvelable.info/>
- 23 : [FR] Biogaz, Ministère fédéral allemand de l'économie et la technologie (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) <http://www.renewables-made-in-germany.com/fr/renewables-made-in-germany-accueil/bioenergie/biogaz/vue-densemble.html>
- 25 : [FR] http://www.actu-environnement.com/ae/newsbiogaz-france-allemande-achat-injection-reseau-grenelle2_10161.php4 (2010)
- 26 : [EN] [http://www.biogas.org/edcom/webfwb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/11-06-27_Biogas%20Branchenzahlen%202010_eng.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfwb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/11-06-27_Biogas%20Branchenzahlen%202010_eng.pdf) : (2010)
- 27 : [FR] Ministère fédéral allemand de l'économie et la technologie (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) <http://www.renewables-made-in-germany.com/fr/renewables-made-in-germany-accueil/bioenergie/biogaz/perspective.html>

2.5. Le profil énergétique japonais

- 28 : [EN] Japan,U.S Energy Information Administration, <http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=JA>
- 29 : [EN] *Revision to the Japanese Energy Policy*, Ryo MINAMI, 2 décembre 2011, EU-Japan Policy Seminar European and Japanese Energy Policy after Fukushima, http://documents.eu-japan.eu/seminars/japan/policy/presentation_minami_02122011.pdf
- 30 : [FR] RTE, Statistiques de l'énergie électrique en France http://www.rte-france.com/uploads/Mediatheque_docs/vie_systeme/annuelles/Statistiques_energie_electrique/statistiques_annuelles_2010.pdf

2.6. La politique publique énergétique japonaise

- 31 : [EN] Site internet du METI, lois 122 à 148, <http://www.meti.go.jp/english/information/data/laws.html#anre>
- 32 : [FR] *Leçons de la maladie de Minamata et mesure de mercure au Japon*, Ministère de l'environnement du Japon, 2011 http://www.env.go.jp/chemi/tmms/pr-m/mat01/fr_full.pdf
- 33 : [EN] *Renewable energy country attractiveness indices*, Ernst & Young, février 2012 [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/CAI_issue_32_Feb_2012/\\$FILE/CAI_issue_32_Feb_2012.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/CAI_issue_32_Feb_2012/$FILE/CAI_issue_32_Feb_2012.pdf)
- 34 : [EN] *Vested interests, energy efficiency and renewables in Japan*, E. Moe, *Energy Policy*, 40 (2012) 260-273

2.7. Les bioénergies et la politique énergétique japonaise

- 35 : [EN] *Immediate Supply-Demand Stabilization Measures – Accelerate the implementation of structural reforms related to energy*. - Decision of the Energy and Environment Council, 29 juillet 2011
- 36 : [EN] *Japan's Ethanol Introduction and Outstanding Issues*, Octobre 2007, The Institute of Energy Economics, Japan
- 37 : [EN] Article du Japan Times, 14 Décembre 2011: <http://www.japantimes.co.jp/text/nn20111214a8.html>
- 38 : [EN] MAFF, *Biomass Town Concept in Asia*, [http://www.unep.or.jp/letc/spc/news-mar10/0304_1400_BiomassTownConceptInAsia\(MAFF\).pdf](http://www.unep.or.jp/letc/spc/news-mar10/0304_1400_BiomassTownConceptInAsia(MAFF).pdf)
- 39 : [EN] *Biomass Nippon Strategy—Why “Biomass Nippon” now?*, Yusuke Kuzuhara, *Biomass and Bioenergy*, Volume 29, Issue 5, November 2005, Pages 331–335

- 40 : [EN] Biomass-Nippon Strategy, MAFF, [http://www.jie.or.jp/pdf/23\[1\].Mr.Arai.pdf](http://www.jie.or.jp/pdf/23[1].Mr.Arai.pdf)
- 41 : [EN] "Bill on the Promotion of the Use of Nonfossil Energy Sources and Effective Use of Fossil Energy Source Materials by Energy Suppliers" http://www.meti.go.jp/english/press/data/20090310_01.html
- 42 : [EN] Marubeni To Snag Angolan Sugar, Bioethanol Order, Nikkei, 06 Février 2012 <http://e.nikkei.com/e/ac/TNKS/Nni20120205D0502F02.htm?NS-query=Marubeni>

2.8. Les instituts de recherche

- 43 : [EN] Profile of NEDO April 2011 – March 2012 <http://www.nedo.go.jp/content/100079541.pdf> [Anglais]
- 44 : [EN] Japan to Focus on Next Generation Biofuels, Global Agricultural Information Network, United States Department of Agriculture, Foreign Agriculture Service, Juin 2010

3. Les projets de recherche

3.1. Les biocarburants de la première génération

- 45 : [EN] Facts and Figures of Japan 2007 01: Land, Foreign Press Center Japan [PDF] http://fpcj.jp/old/e/mres/publication/ff/pdf_07/01_land.pdf [Anglais]
- 46 : [EN] Petrobras Forms Japanese Ethanol Joint Venture, Green Car Congress http://www.greencarcongress.com/2005/12/petrobras_forms.html [Anglais]
- 47 : [EN] 80% des importations de bioéthanol au Japon proviennent du Brésil (2008) http://www.upi.com/Business_News/Energy-Resources/2008/12/30/Analysis-Brazil-pumps-ethanol-to-Japan/UPI-53741230681428/ [Anglais]
- 48 : [JP] http://www.aruhan.gr.jp/bje/bje_gaiyou.htm [Japonais]
- 49 : [EN] Biodiesel production from *Jatropha curcas*, A review, Wilson Parawira, *Scientific Research and Essays*, Vol. 5(14), pp 1796-1808

3.2. Culture de la biomasse

- 50 : [EN] *Jatropha: A Smallholder Bioenergy Crop The Potential for Pro-Poor Development*, Richard Brittain et NeBambi Lutaladio, FAO, 2010, <http://www.fao.org/docrep/012/i1219e/i1219e.pdf>
- 51 : [JP] Rapport de la NEDO, pp :5-6 <http://www.nedo.go.jp/content/100160857.pdf>
- 52 : [EN] Site internet du projet SATREPS : http://www.jst.go.jp/global/english/kadai/h2303_botswana.html
- 53 : [EN] Site du groupe de recherche du Professeur Akashi, présentation des recherches sur la noix *Jatropha* : http://bsw3.naist.jp/yokota/Labo_Akashi_Official/sub2a_Jatropha.html
- 54 : [JP] [EN] Présentation du projet SATREPS sur le site du groupe de recherche du Professeur Akashi : http://bsw3.naist.jp/yokota/Labo_Akashi_Official/sub3a_satreps.html
- 55 : [JP] [EN] Rapport de la NEDO, pp 13-14: <http://www.nedo.go.jp/content/100160857.pdf>
- 56 : [EN] *Sequence Analysis of the Genome of an Oil-Bearing Tree, Jatropha curcas L.*, Shusei et al, *DNA Research*, 18, 65-76, (2011)
- 57 : [EN] *The Coenzyme A Biosynthetic Enzyme Phosphopantetheine Adenylyltransferase Plays a Crucial Role in Plant Growth, Salt/Osmotic Stress Resistance, and Seed Lipid Storage*, Rubio et al, *Plant Physiology* September 2008 vol. 148 no. 1 546-556
- 58 : [EN] *Plant nuclear factor Y (NF-Y) B subunits confer drought tolerance and lead to improved corn yields on water-limited acres*, Nelson et al, *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2007 October 16; 104(42): 16450–16455
- 59 : [EN] *Enhancement of saccharification by overexpression of poplar cellulase in sengon*, Kaida et al.(2009) *J Wood Sci.*,55: 6
- 60 : [JP] Rapport de la NEDO, pp 15-16 <http://www.nedo.go.jp/content/100086210.pdf>
- 61 : Université d'Agriculture et de Technologie de Tokyo (東京農業大学), Université de Technologie de Nagaoka (長岡技術科学大学), Université des Sciences de Okayama (岡山科学大学) et l'institut de recherche des forêts et produits forestiers (森林総合研究所)
- 62 : [EN] *Genetic Engineering of woody plants : current and future targets in a stressful*

- environment, Osakabe et al, *Physiologia Plantarum* 142 : 105-117. 2011
- 63 : [EN] *Regulatory System of the Protocatechuate 4,5-Cleavage Pathway Genes Essential for Lignin Downstream Catabolism*, Kamimura et al, *J. Bacteriol.* 2010, 192(13):3394.
- 64 : [EN] *Characterization of the Protocatechuate 4,5-Cleavage Pathway Operon in Comamonas sp. Strain E6 and Discovery of a Novel Pathway Gene*, Kamimura et al, *Appl. Environ. Microbiol.* 2010, 76(24):8093.
- 65 : [JP] Rapport de la NEDO, pp. 21-22. <http://www.nedo.go.jp/content/100160857.pdf>
- 66 : [EN] Rapport de la NEDO : <http://www.nedo.go.jp/content/100086239.pdf>
- 67 : *High-throughput determination of thioglycolic acid lignin from rice*, Suzuki et al, *Plant Biotechnology* 26, 337-340 (2009)
- 68 : [JP] Détail du projet sur le site de l'Institut de Recherche sur les Forêts et Produits Forestiers : <http://www.ffpri.affrc.go.jp/shoho/n63-06/063-3.htm>
- 69 : [JP] 11^{ème} Bulletin trimestriel de la recherche sylvestre, 季刊森林総研, *Kikan Shinrin-souken*, Novembre 2010
- 70 : [EN] *Journal of arid land studies* 19(1), 53-56, 2009-06-25
- 71 : [JP] Rapport de la NEDO, <http://www.nedo.go.jp/content/100160857.pdf>
- 72 : [EN] *Expression of Mangrove Allene Oxide Cyclase Enhances Salt Tolerance in Escherichia Coli, Yeast, and Tobacco Cells*, Yamada et al, *Plant Cell Physiol.* 43(8):903-910(2002)
- 73 : [EN] *Isolation and Functional Characterization of N-Methyltransferases That Catalyze Betaine Synthesis from Glycine in a Halotolerant Photosynthetic Organism Aphanothece halophytica*, Waditee, Tanaka et al, *J.Biol.Chem*, Vol 278, No.7, Issue of February 14, pp. 4932-4942, 2003.
- 74 : [JP] Rapport de la NEDO, pp. 15-16 <http://www.nedo.go.jp/content/100160857.pdf>
- 75 : [EN] *The ecology and agronomy of Miscanthus sinensis, a species important to bioenergy crop development, in its native range in Japan, a review*, Stewart et al, *GCB Bioenergy* (2009) 1, 126-153
- 76 : [EN] *Establishment of an efficient in vitro culture and particle bombardment-mediated transformation systems in Miscanthus sinensis Anderss. A potential bioenergy crop*, *GCB Bioenergy* (2011), 3, 322-332
- 77 : [JP] Communiqué de presse de l'université d'Hokkaidō, http://www.hokudai.ac.jp/bureau/topics/press_release/110210_pr_fsc.pdf
- 78 : [JP] Présentation du Dr. Yamada, Université d'Hokkaidō <http://www.agr.hokudai.ac.jp/riric/4thGM-yamada.pdf>
- 79 : [EN] *Miscanthus, A Review of European Experience with a Novel Energy Crop*, J. M. O. Scurlock, <https://bioenergy.ornl.gov/reports/miscanthus/toc.html>
- 80 : [EN] *Gene Dosage and genetic background affect miraculin accumulation in transgenic tomato fruits*, Kim, Hirai et al, *Plant Biotechnology* 27, 333-338 (2010)
- 81 : [EN] Site du Gene Research Center, <http://www.gene.tsukuba.ac.jp/indexE.html>
- 82 : [EN] *Promotion of Plant Growth By Bacterial ACC Deaminase*, Glick et al, http://www.redorbit.com/news/science/1155940/promotion_of_plant_growth_by_bacterial_acc_deaminase/
- 83 : [JP] Rapport de la NEDO, pp. 17-18, <http://www.nedo.go.jp/content/100160857.pdf>
- 84 : [JP] Site du laboratoire du professeur Harayama de l'université Chuo <http://www.bio.chuo-u.ac.jp/harayama/>
- 85 : [JP] Rapport de la NEDO <http://www.nedo.go.jp/content/100160857.pdf> [
- 86 : [JP] Article du Yomiuri Shimbun : <http://www.yomiuri.co.jp/adv/chuo/research/20100812.htm>
- 87 : [EN] *Optimization of culture conditions of the thraustochytrid Aurantiochytrium sp. strain 18W-13a for squalene production*, Watanabe et al, *Bioresource Technology*, Volume 109, April 2012, Pages 287–291
- 88 : [EN] *Optimization of light for growth, photosynthesis, and hydrocarbon production by the colonial microalga Botryococcus braunii BOT-22*, Sakamoto, Watanabe et al, *Bioresource Technology*, Volume 110, April 2012, Pages 474–479
- 89 : [EN] *Modes of hydrocarbon oil biosynthesis revealed by comparative gene expression analysis for race A and race B strains of Botryococcus braunii*, Watanabe et al, *Bioresource Technology*, Volume 109, April 2012, Pages 271–27
- 90 : Institut de recherche sur l'ADN Kazusa, RIKEN et l'Université de Kyoto

- 91 : [JP] Rapport de la NEDO, pp. 19-20 <http://www.nedo.go.jp/content/100160857.pdf>
- 92 : [JP] Lettre d'information n°29 du centre de recherche sur l'ADN Kazusa, mai 2010, http://www.kazusa.or.jp/j/information/pdf/NL29_1005.pdf
- 93 : [EN] *KaPPA-View4 : a metabolic pathway database for representation and analysis of correlation networks of gene co-expression and metabolite co-accumulation and omics data*, Sakurai et al, *Nucleic Acids Research*, 2011, Vol. 39, Database issue, D667-D6684

3.3. Production de biocarburants

- 94 : [JP] Rapport de la NEDO : <http://www.nedo.go.jp/content/100085842.pdf>
- 95 : [EN] Site de l'Albany Plantation Forest Company of Australia, Pty Ltd : <http://www.apfl.com.au/index.aspx>
- 96 : Université Obihiro d'agriculture et de médecine vétérinaire, Institut Régional Intégré Prague Ltd.
- 97 : [JP] Rapport de la NEDO, pp. 11-12, <http://www.nedo.go.jp/content/100085852.pdf>
- 98 : [EN] *Direct bioethanol production from cellulose by the combination of cellulase-displaying yeast and ionic liquid pretreatment*, Nakashima et al, *Green Chem.*, 2011, **13**, 2948–2953 [Anglais]
- 99 : [EN] *Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview*, J. Perez, *Int Microbiol*(2002) 5: 53–63
- 100 : [FR] Article de l'INRA, http://www.inra.fr/presse/explorer_biodiversite_fongique_forets_tropicales_pour_trouver_de_nouvelles_enzymes
- 101 : [EN] *Genome sequencing and analysis of the biomass-degrading fungus Trichoderma reesei (syn. Hypocrea jeocrina)*, Martinez et al, *Nature Biotechnology*, Volume 26 Number 5 May 2008
- 102 : [JP] Rapport de la NEDO, <http://www.nedo.go.jp/content/100160847.pdf>
- 103 : [JP] Rapport de la NEDO <http://www.nedo.go.jp/content/100160133.pdf>
- 104 : [EN] *Supercritical Water as a Solvent*, Hermann Weingrtnr and Ernst Ulrich Franck, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2005, 44, 2672 – 2692
- 106 : [EN] *Dissolution of Cellose with Ionic Liquids*, Swatloski et al, *J. Am. Chem. Soc.* 2002, 124, 4974-4975
- 107 : [EN] *Task Specific Ionic Liquids for Cellulose Technology*, Ohno et al, *Chemistry Letters* Vol.38, No.1 (2009)
- 108 : Université de Kobe, Université de Kyushu, Laboratoire Central de Recherche de Toyota et Toyota Motor Corp.
- 109 : [EN] *Direct bioethanol production from cellulose by the combination of cellulase-displaying yeast and ionic liquid pretreatment*, Nakashima et al, *Green Chem.*, 2011, **13**, 2948–2953
- 110 : Université de Tottori, Université de Shinshu et Idemitsu Kosan Co. Ltd.
- 111 : [JP] Rapport de la NEDO, <http://www.nedo.go.jp/content/100086237.pdf>
- 112 : [EN] *Eco-Ethanol Production from Lignocellulosics with Hot-Compressed Water Treatment Followed by Acetic Acid Fermentation and Hydrogenolysis*, Saka et al, Poster
- 113 : [EN] *Hydrolysis of Japanese beech by batch and semi-flow water under subcritical temperatures and pressures*, Saka et al, *Biomass and Bioenergy* 34 (2010) 1089-1097 [Anglais]
- 114 : [EN] *Hot compressed water – a suitable and sustainable solvent and reaction medium ?*, E. Dinjus and A. Kruse, *J.Phys.:Condens. Matter* 16 (2004) S1161-S1169
- 115 : Université de Yamaguchi, Iwata Chemical Co. Ltd et Sapporo Breweries.
- 116 : [JP] Rapport de la NEDO : <http://www.nedo.go.jp/content/100086216.pdf> [Japonais]
- 117 : [JP] Brevet (WO2011114613) Procédé de production du transformant de *Kluyveromyces marxianus*
- 118 : [JP] Brevet (WO2011099243) Méthode d'expression d'un gène cible au moyen d'un promoteur spécifique tiré de *Saccharomyces cerevisiae* dans *Kluyveromyces marxianus*
- 119 : [EN] *High-Temperature Ethanol Fermentation and Transformation with Linear DNA in the Thermotolerant Yeast Kluyveromyces marxianus DMKU3-1042*, Nonklang, Akada et al, *Applied and Environmental Microbiology*, Dec 2008, p. 7514-7521.
- 120 : Université Sojo, Université de Kumamoto.
- 121 : [JP] Rapport de la NEDO, pp 15-16, <http://www.nedo.go.jp/content/100085852.pdf>

- 122** : [EN] *Ethanol production from kitchen waste using the flocculating yeast Saccharomyces cerevisiae strain KF-7*, Tang, Kida et al, *Biomass and Bioenergy* 32 (2008) 1037-1045
- 123** : [EN] *Production of fuel ethanol and methane from garbage by high-efficiency two-stage fermentation process*, Koike et al, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol. 108 No. 6, 508-512, 2009
- 124** : [FR] Séminaire "La biomasse végétale pour la production d'énergie ", Présentation de Patrick Magnoux, Laboratoire de Catalyse en Chimie Organique (LACCO – Poitiers), 9 Novembre 2007 <http://www.biomasse-pour-energie.ensma.fr/Presentations/Magnoux.pdf>
- 125** : Université de Kyushu
- 126** : [JP] Rapport de la NEDO, pp 43-44 <http://www.nedo.go.jp/content/100160857.pdf>
- 127** : AIST, Cosmo Oil Co., Toyota Motor Corporation
- 128** : [JP] Rapport de la NEDO, pp 41-42, <http://www.nedo.go.jp/content/100160857.pdf>
- 129** : [EN] Présentation lors du séminaire franco-japonais sur les bioénergies, Cosmo Oil, octobre 2011.
- 130** : Mitsubishi Heavy Industries et AIST
- 131** : [JP] Rapport de la NEDO, *Synthesis of Transportation Fuels by Biomass Gasification and Subsequent Catalytic Liquefaction by Fischer-Tropsch Reaction*, <http://www.nedo.go.jp/content/100160167.pdf>
- 132** : [FR] Lettre d'information de la confédération helvétique, *Avantages des carburants désulfurés*, Octobre 2003, <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/1091.pdf>
- 133** : [EN] *Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment*, Saka et al, *Biosource Technology* 91 (2004) 289-295
- 134** : [EN] *Biodiesel from rapeseedoil, methanol and KOH 3: Analysis of composition of actual reaction mixture*. Komers et al. *Eur J Lipid Sci Technol* 103(6):363–371.
- 135** : [EN] *Dimethyl carbonate as potentiel reactant in non-catalytic biodiesel production by supercritical method*, Saka et al, *Bioresource Technology* 100 (2009) 1793-1796
- 136** : [EN] *Dimethyl carbonate : Green solvent and ambident reagent*. P.Tundo et al. *Green Chemical Reactions*, 2008
- 137** : [EN] *A new process for catalyst-free production of biodiesel using supercritical methyl acetate*, Saka et al, *Fuel* 88 (2009) 1307-1313
- 138** : [EN] *New process for catalyst-free biodiesel production using subcritical acetic acid and supercritical methanol*, Saka et al, *Fuel* 89 (2010) 1442-1446
- 139** : [EN] *Biodiesel production from rapeseed oil by various supercritical carboxylate esters*, Goembira F et al, *Fuel* (2012)
- 140** : [EN] *Effects of CO₂/N₂ addition to supercritical methanol on reactivities and fuel qualities in biodiesel production*, Saka et al, *Fuel* 88 (2009) 1329-1332
- 141** : [FR] *Les défis du transport aérien*, Paul Kuentzmann, Conférence à l'université Pierre et Marie Curie, 23/11/10, http://www.energie-environnement-upmc.fr/userfiles/file/cours/Master2/NSE05S1_DefisEnergetiques/20102011/Paul%20KUENTZMANN%20UPMC_231110%202.pdf
- 142** : [EN] *World Jet Fuel Specifications*, Exxon Mobil, 2005 Edition, <http://www.exxonmobil.com/AviationGlobal/Files/WorldJetFuelSpecifications2005.pdf>
- 143** : [EN] *2 million tons per year : A performing biofuels supply chain for EU aviation*, Commission Européenne, http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/doc/20110622_biofuels_flight_path_technical_paper.pdf
- 144** : [JP] Présentation de la compagnie sur le site de RTIB, <http://www.maekawabio.org/3enkoukaishiryuu.pdf>
- 145** : [EN] *Development of Aircraft Fuels from Algae*, Research Institute of Tsukuba Bio-tech Corporation, Takaaki Maekawa.
- 146** : [EN] *Introduction of a pilot project aimed to manufacture aviation fuel, fodder and food from production system of microscopic algae Euglena gracilis*, Kurosu et al, Research Institute of Tsukuba Bio-tech Corporation, *Pacific Rim Summit December 11-14 2010, Honolulu, Hawaii USA*

4. Perspectives futures au Japon

4.1. Les micro-algues

147 : Université de Tsukuba, JFE Engineering Corporation, Institut de technologie de Kanagawa, Université de Chubu

148 : Université de Tokyo, Tokyo Gaz

149 : [EN] *Drop'in fuels : the next generation*. Biofuels Heading <http://www.emerging-markets.com/algae/Drop%20In%20Fuels%20The%20Next%20Generation%20Emerging%20Markets%20Online.pdf>

150 : [EN] *The future of biofuels : The post-alcohol world*, The Economist, 28/10/2010 <http://www.economist.com/node/17358802>

151 : Idemitsu Kosan Co.

152 : Université de Kochi, Université de Tokyo, Université de Kyoto et Euglena Co., Ltd.

153 : Université de Chuo et Denso Corporation

4.2. Le BTL

154 : [EN] [JP] *Strategic Development of Next-generation Bioenergy Utilization Technology*, NEDO, 1 Février 2012

155 : Azuma Sansyo Co.,Ltd, JX Nippon Oil & Energy Co., Ltd et Süd-Chemie Catalysts Inc.

156 : [JP] Site de l'initiative biomass town sur le site du MAFF, <http://biomasstown.biomass-hq.jp/biomasstowns/announce/1>

5. Les villes et les biocarburants : une thématique qui s'inscrit dans une vision plus globale de la réorganisation urbaine

5.1. Les éco-cités du futur

5.2. Les biomass-towns

157 : [JP] Carte des villes étant labelisées biomass town sur le site du MAFF avec leurs spécificités: <http://biomasstown.biomass-hq.jp/>

158 : [JP] Carte des villes étant labelisées biomass town sur le site du MAFF : http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_town/pdf/map318.pdf

159 : [EN] Communiqué de presse du gouvernement <http://www.gov-online.go.jp/pdf/hlj/20101101/08-09.pdf>

160 : [EN] Présentation du bureau de l'économie agricole de la Thaïlande, http://www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/plan_web/download/FAO_Climate/6_Green%20Town%20in%20Thailand%202.pdf

161 : [EN] *Biomass Town Concept in Na Duang village, Loei Province*, International Symposium on East Asia Biomass Town Concept Promotion http://www.maff.go.jp/j/shokusan/kankyo/seisaku/utilization/pdf/thai_biomass_town_concept.pdf

6. Neo Morgan Laboratory : une entreprise modèle de la recherche sur les bioénergies

6.1. Neo Morgan Laboratory

162 : [EN] Site de l'entreprise Neo-Morgan Laboratory : <http://www.neo-morgan.com/En/top.html> [Anglais]

163 : [EN] *A Neo-Darwinian Algorithm : asymmetrical mutations due to semiconservative DNA-type replication promote evolution*. Wada et al, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 90(24), 11934-8 (1993)

164 : [EN] *Asymmetrical DNA replication promotes evolution : disparity theory of evolution*. Furusawa et al, *Genetica*, 102-103 (16), 333-47 (1998) [Anglais]

165 : [EN] *Development of valuable yeast strains using a novel mutagenesis technique for the effective production of therapeutic glycoproteins*. Abe et al. *Glycobiology*. 2009 , 19(4) : 428-36 [Anglais]

167 : [EN] Communiqué de presse de l'entreprise IHI, *Formation of the Joint Venture for Bio-fuel produced by Algae -Aiming for the commercialization in high concentrated fuel producing algae*,

<http://www.ihl.co.jp/en/press/2011/2011-8-01/index.html> [Anglais]

6.2. La technologie de mutagenèse différentielle

6.3. Applications de la technologie de mutagenèse différentielle à l'obtention de biocarburants

168 : [EN] Article sur le site internet Green Car Congress,

http://www.greencarcongress.com/2006/08/japanese_biotec.html [Anglais]

166 : [EN] *Society for industrial microbiology 60th annual meeting, P107: Introducing Xyno- the best yeast ever for simultaneous fermentation of glucose and xylose for bio-ethanol production*

<http://sim.confex.com/sim/2010/webprogram/Paper16501.html> [Anglais]

169 : [EN] *Promotion of evolution : disparity in the frequency of strand-specific misreading between the lagging and the leading DNA strands enhances disproportionate accumulation of mutations.* Furusawa, M and Doi H. *J Theor Biol.*, 157(1), 127,33 (1992) [Anglais]