



This paper is a part of the hereunder thematic dossier published in OGST Journal, Vol. 68, No. 4, pp. 621-783 and available online [here](#)

Cet article fait partie du dossier thématique ci-dessous publié dans la revue OGST, Vol. 68, n°4, pp. 621-783 et téléchargeable [ici](#)

DOSSIER Edited by/Sous la direction de : **A. Daudin et A. Quignard**

PART 1

Second and Third Generation Biofuels: Towards Sustainability and Competitiveness

Deuxième et troisième génération de biocarburants : développement durable et compétitivité

Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles, Vol. 68 (2013), No. 4, pp. 621-783

Copyright © 2013, IFP Energies nouvelles

- 621 > Editorial
- 633 > *Biomass Assessment: A Question of Method and Expertise*
Évaluation de la ressource biomasse : une question de méthode et d'expertise
A. Thivolle-Cazat, E. Le Net, F. Labalette and S. Marsac
- 651 > *Rational Formulation of Alternative Fuels using QSPR Methods: Application to Jet Fuels*
Développement d'un outil d'aide à la formulation des carburants alternatifs utilisant des méthodes QSPR (*Quantitative Structure Property Relationship*): application aux carburéacteurs
D.A. Saldana, B. Creton, P. Mouglin, N. Jeuland, B. Rousseau and L. Starck
- 663 > *Upgrading the Hemicellulosic Fraction of Biomass into Biofuel*
Valorisation de la fraction hémicellulosique de la biomasse en biocarburants
F. Ben Chaabane and R. Marchal
- 681 > *How Molecular Evolution Technologies can Provide Bespoke Industrial Enzymes: Application to Biofuels*
Comment les technologies d'évolution moléculaire peuvent fournir des enzymes industrielles sur mesure : application aux biocarburants
L. Fourage, J.-M. Sonet, F. Monot, G. Ravot and A. Margeot
- 693 > *The NILE Project – Advances in the Conversion of Lignocellulosic Materials into Ethanol*
Le projet NILE et la conversion des matériaux lignocellulosiques en éthanol
F. Monot, A. Margeot, B. Hahn-Hägerdal, J. Lindstedt and R. Slade
- 707 > *Synthesis Gas Purification*
Purification des gaz de synthèse
D. Chiche, C. Diverchy, A.-C. Lucquin, F. Porcheron and F. Defoort
- 725 > *Inorganic Species Behaviour in Thermochemical Processes for Energy Biomass Valorisation*
Comportement des espèces inorganiques dans les procédés thermochimiques de valorisation énergétique de la biomasse
K. Froment, J.-M. Seiler, F. Defoort and S. Ravel
- 741 > *Correspondence Between Structure and Reactivity During Hydrothermal Conversion of Lignocellulosic Macromolecules*
Relation entre la structure et la réactivité en conversion hydrothermale des macromolécules de lignocellulosique
J. Barbier, N. Charon, N. Dupassieux, A. Loppinet-Serani, L. Mahé, J. Ponthus, M. Courtiade, A. Ducrozet, A. Le Masle, A.-A. Quoineaou and F. Cansell
- 753 > *Thermochemical Conversion of Lignin for Fuels and Chemicals: A Review*
Conversion thermochimique de la lignine en carburants et produits chimiques : une revue
B. Joffres, D. Laurenti, N. Charon, A. Daudin, A. Quignard and C. Geantet
- 765 > *A Short Historical Review of Fast Pyrolysis of Biomass*
Une brève revue historique de la pyrolyse rapide de la biomasse
D. Radlein and A. Quignard

Éditorial

SECONDE ET TROISIÈME GÉNÉRATION DE BIOCARBURANTS : DÉVELOPPEMENT DURABLE ET COMPÉTITIVITÉ

Pour assurer la transition écologique, réduire la dépendance aux énergies fossiles, faire face à la demande en énergie de la planète dans les 30 à 50 prochaines années et lutter contre le changement climatique dû aux émissions de CO₂, le recours à un bouquet d'énergie renouvelable est incontournable. Bois, ressources agricoles, sous-produits de l'agriculture, déchets végétaux, cultures à vocation énergétique (parmi lesquelles on pourra inclure les micro et les macro-algues) représentent un gisement de biomasse dont la transformation permet de conduire à la production de biocarburants (transport routier, transport aérien), appelés dorénavant agrocarburants. Toutefois, de nombreuses questions se posent, comme par exemple :

- la compétition d'usage : les ressources agricoles sont par nature dédiées à l'alimentation humaine et jusqu'où l'utilisation à des fins énergétiques de celles-ci est-elle acceptable, le bois et les déchets végétaux sont déjà utilisés pour la production de chaleur ;
- l'estimation des ressources disponibles et mobilisables : il s'agit là d'un réel débat et disposer d'une vision précise du gisement potentiellement disponible de la ressource, de sa localisation, de son mode de récolte et de sa facilité de mobilisation est un vrai challenge ;
- les impacts sur l'affectation des sols (directe et indirecte), sur les ressources en eau, sur les émissions de gaz à effet de serre, sur l'environnement au sens large avec la mise en place de critères de durabilité dont les méthodologies de détermination sont aussi de vrais défis ;
- le bilan énergétique global.

Par ailleurs, à l'horizon 2020, la communauté européenne s'est donnée des engagements ambitieux de pénétration des énergies renouvelables, une teneur de 10 % pour le transport, en disposant de solutions industrielles acceptables et acceptées, pour produire les quantités nécessaires est fixée.

Pour les 30 années qui viennent de s'écouler, les efforts pour la production de biocarburants ont été ciblés sur les ressources riches en sucre et en amidon (betteraves, blé, canne à sucre) ou sur les ressources oléagineuses (colza, soja, tournesol, palme) et ce sont donc des filières aujourd'hui matures mais aussi controversées. Dans ce contexte limitant la pénétration de ces filières, dites de première génération, se tourner vers d'autres ressources comme la biomasse lignocellulosique ou les ressources aquatiques offre de nouvelles opportunités. Ainsi, les biocarburants de seconde génération sont issus de la transformation de la lignocellulose, constituant principal des végétaux. Cette ressource est disponible en grande quantité sous diverses formes (bois, paille, déchets végétaux) avec l'avantage de ne pas rentrer en compétition avec l'alimentaire. Différentes options sont envisageables pour cette transformation, soit par voie biochimique, soit par voie thermochimique (pyrolyse ou gazéification) avec l'objectif de produire soit des substituts liquides des essences, des gazoles, des jet fuels, soit du biométhane répondant aux critères de durabilité requis. Aux côtés de ces voies biochimiques et thermochimiques,

des pistes plus exploratoires de production de biocarburants de seconde génération sont envisagées en s'appuyant sur des voies biologiques pouvant conduire à des alcools lourds, des hydrocarbures, des lipides. Ces filières de seconde génération devraient offrir des bilans énergétiques et des analyses de cycle de vie favorables.

Aujourd'hui les biocarburants de seconde génération mobilisent d'importantes forces en recherche et développement pour arriver à des débouchés industriels à l'horizon 2020-2025 mais au-delà de cette nouvelle famille, ont émergé les biocarburants de troisième génération qui font appel à une ressource non domestiquée que sont les algues autotrophes. Ces algues, cultivées sous certaines conditions, peuvent produire des lipides mais aussi pour certaines espèces de micro-algues des hydrocarbures, avec pour ces différentes espèces, des productivités annoncées nettement plus élevées que celles des cultures terrestres. Par ailleurs, pour leur croissance, ces algues consomment du CO₂ pouvant provenir de fumées industrielles, ce qui offre des perspectives de mise en œuvre de systèmes de production intégrés dans un écosystème assez large. Néanmoins, de nombreux verrous limitent aujourd'hui la viabilité économique, énergétique et environnementale de cette nouvelle filière et les perspectives de développement sont nettement plus lointaines car il faudra apporter de nombreuses solutions pour permettre une production à grande échelle avec un positionnement économique acceptable et un bilan énergétique favorable.

C'est dans ce contexte que le comité éditorial de la revue OGST a jugé opportun de proposer un numéro spécial sur les biocarburants de seconde génération avec une ouverture sur les biocarburants avancés. Ce numéro a pour ambition de se projeter dans les 30 années à venir en présentant les avancées technologiques mais aussi en pointant les difficultés et les verrous scientifiques des biocarburants de seconde génération.

En introduction, ce numéro propose :

- tout d'abord un éclairage sur la ressource en biomasse qui est la clé de voute des prévisions de pénétration des biocarburants. Le premier article proposé « *Évaluation de la ressource biomasse : une question de méthode et d'expertise* » par **A. Thivolle-Cazat, E. Le Net, F. Labalette et S. Marsac** mettra en lumière les éléments méthodologiques et les barrières à lever pour obtenir une évaluation et une bonne compréhension de la mobilisation de la ressource devant permettre de répondre aux attentes des utilisateurs et des autorités ;
- en second lieu la proposition d'un outil rationalisant la formulation des carburants à partir de bases alternatives ex biomasse. L'article « *Développement d'un outil d'aide à la formulation des carburants alternatifs utilisant des méthodes QSPR (Quantitative Structure Property Relationship) : application aux carburéacteurs* » par **D.A. Saldana, B. Creton, P. Mougin, N. Jeuland, B. Rousseau et L. Starck** montre que l'application des méthodes QSPR (*Quantitative Structure Property Relationship*) peut permettre de relier la structure aux propriétés des molécules. Ainsi, pour un ensemble de molécules clés des carburants, des modèles prédictifs sont établis afin de proposer les axes de formulation des carburants terrestres ou aéronautiques.

On regardera avec attention comment la biomasse devra être traitée : soit après déconstruction et traitement biochimique, soit par traitement thermochimique de la biomasse entière et c'est un ensemble d'articles dédiés aux voies en phase de développement industriel qui est proposé.

C'est par la filière biochimique que débutera cette analyse :

- le premier d'entre eux « *Valorisation de la fraction hémicellulosique de la biomasse en biocarburants* » par **F. Ben Chaabane et R. Marchal** s'intéresse aux hémicelluloses. En effet la valorisation de cette fraction de la biomasse est essentielle pour la profitabilité des procédés de seconde génération. Les auteurs décrivent 2 voies possibles pour utiliser les hémicelluloses en dehors de la voie fermentaire très difficile. La première est l'utilisation en tant que source de carbone pour la production de cellulases, la seconde

est la fermentation acétone-butanol-éthanol (ABE) *via* des bactéries anaérobies, le mélange ABE recueilli pouvant être utilisé comme substitut des essences ;

- le second article « *Comment les technologies d'évolution moléculaire peuvent fournir des enzymes industrielles sur mesure : application aux biocarburants* » par **L. Fourage, J.-M. Sonet, F. Monot, G. Ravot** et **A. Margeot** montre comment il est possible d'améliorer les performances du champignon *Trichoderma reesei*, amélioration qui conduit à une diminution d'un facteur 4 de la quantité du cocktail d'enzymes nécessaire à la saccharification d'une biomasse industrielle prétraitée ;
- le troisième article présente la synthèse du projet européen NILE « *Le projet NILE et la conversion des matériaux lignocellulosiques en éthanol* » par **F. Monot, A. Margeot, B. Hahn-Hagerdal, J. Lindstedt** et **R. Slade**. Le projet NILE qui a associé les principaux acteurs européens impliqués dans la production d'éthanol 2G, piloté par l'IFP Energies nouvelles, a permis de travailler sur l'identification de nouvelles souches d'enzymes dédiées à la conversion de la cellulose en glucose, en allant jusqu'à la mise en place d'une unité pilote et en incluant les aspects environnementaux et socio-économiques.

Les filières thermo-chimiques par gazéification seront ensuite abordées :

- la présentation du projet BioTfueL « *Le projet BioTfueL : un projet de développement de biogazole et biokérosène de 2^e génération* » par **J.-C. Vigié, N. Ullrich, P. Porot, L. Bournay, M. Hecquet** et **J. Rousseau** projet coopératif qui présente un concept original pour une chaîne complète de procédés pour la production de BtL servira de support introductif ;
- dans les procédés de type Fischer-Tropsch, la purification du gaz de synthèse est une étape déterminante, notamment lorsqu'il s'agit de biomasse comme charge initiale. L'article « *Purification des gaz de synthèse* » par **D. Chiche, C. Diverchy, A.-C. Lucquin, F. Porcheron** et **F. Defoort** présente l'ensemble des défis associés à cette étape de purification et décrit avec précision les différentes technologies de purification qui peuvent être mises en œuvre pour les charges considérées ;
- outre la purification du gaz de synthèse, un autre grand défi des procédés de production de biocarburants par gazéification de la biomasse est la gestion du comportement des espèces inorganiques. L'article « *Comportement des espèces inorganiques dans les procédés thermo-chimiques de valorisation énergétique de la biomasse* » par **K. Froment, J.-M. Seiler, F. Defoort** et **S. Ravel** fait la synthèse des difficultés technologiques liées à ces impuretés et propose les améliorations à réaliser sur les procédés ;
- pour clore sur la filière gazéification, l'article « *Biocarburant gazeux de 2^e génération : du gisement de biomasse au réseau de gaz* » par **O. Guerrini, M. Perrin** et **B. Marchand** s'intéresse à la filière de valorisation de la biomasse *via* la méthanation et en présente une analyse technique, environnementale et économique.

C'est ensuite un ensemble d'articles dédiés notamment à la conversion hydrothermale de la biomasse, à la conversion par pyrolyse ou bien encore par hydroliquéfaction catalytique qui est ensuite proposé :

- **J. Barbier, N. Charon, N. Dupassieux, A. Loppinet-Serani, L. Mahé, J. Ponthus, M. Courtiade, A. Ducrozet, A. Le Masle, A.-A. Quoineaud** et **F. Cansell** décrivent dans l'article « *Relation entre la structure et la réactivité en conversion hydrothermale des macromolécules de lignocellulosique* » les voies réactionnelles accompagnant la liquéfaction thermo-chimique du bois lors d'un traitement hydrothermal, c'est à dire en présence d'eau à l'état sous ou supercritique. Ce travail reposant sur une approche analytique multitechnique permet de mettre en évidence des différences significatives de réactivité entre les différents constituants de la biomasse lignocellulosique lors d'une conversion hydrothermale. Les produits issus des 2 types de décomposition peuvent se recombinaison pour donner naissance à des produits de condensation ;

- l'article suivant « *Conversion thermochimique de la lignine en carburants et produits chimiques : une revue* » par **B. Joffres, D. Laurenti, N. Charon, A. Daudin, A. Quignard** et **C. Geantet** présente différentes voies de thermoconversion de la lignine pour la production soit de carburants, soit d'intermédiaires chimiques. Ainsi, la pyrolyse, la solvolysse, la conversion hydrothermale et l'hydroconversion seront décrites, ce qui permet de disposer d'un panorama précis ;
- le cas de la pyrolyse rapide de la biomasse sera ensuite abordé au travers de l'article « *Une brève revue historique de la pyrolyse rapide de la biomasse* » par **D. Radlein** et **A. Quignard**. Les progrès relatifs aux procédés de pyrolyse flash, la qualité des bio-huiles ainsi que les procédés de valorisation de ces dernières seront présentés et analysés. Cet état des lieux sera complété par une analyse des difficultés rencontrées au sein même du réacteur haute température dans l'article « *Réacteur de pyrolyse rapide de la biomasse : une revue de quelques verrous scientifiques et d'actions de recherches recommandées* » par **J. Lédé** ;
- il est bien connu que les bio-huiles issues des procédés de pyrolyse flash doivent être retraitées pour des valorisations carburants. L'une des solutions est le *coprocessing* avec des charges gazole mais cette opération peut conduire à des désactivations des catalyseurs d'hydrotraitement. L'article « *Fractionnement membranaire d'une huile de pyrolyse flash et impact de sa présence sur l'hydrotraitement d'un gazole atmosphérique* » par **A. Pinheiro, D. Hudebine, N. Dupassieux, N. Charon** et **C. Geantet** présente une approche consistant à faire une séparation de la bio huile en 4 phases sur membrane de façon à identifier les parties conduisant à la désactivation du catalyseur d'hydrotraitement ;
- en poursuivant dans cette démarche, l'article « *Hydrodésoxygénation de composés phénoliques en présence de catalyseurs sulfurés (Co)Mo/Al₂O₃ : une étude expérimentale et théorique* » par **M. Badawi, J.-F. Paul, E. Payen, Y. Romero, F. Richard, S. Brunet, A. Popov, E. Kondratieva, J.-P. Gilson, L. Mariey, A. Travert** et **F. Maugé** présente une voie catalytique d'*upgrading* des bio huiles et les catalyseurs (Co)Mo/Al₂O₃ apparaissent comme de bons candidats pour les étapes d'hydrodésoxygénation ;
- une autre approche pour la production de biocarburants consiste à envisager la transformation des sucres et polyols ex-lignocellulose en alcanes légers par catalyse hétérogène bifonctionnelle en phase aqueuse. Il s'agit d'une nouvelle voie novatrice. L'article « *Transformation du sorbitol en biocarburants par catalyse hétérogène : considérations chimiques et industrielles* » par **L. Vilcocq, A. Cabiac, C. Especel, E. Guillon** et **D. Duprez** présente les différents systèmes catalytiques envisageables, les réactions mises en jeu et des exemples d'applications industrielles pour ces systèmes ;
- pour clore la transformation de la biomasse par voie thermique, est présenté le procédé MixAlco « *Conversion de la biomasse en combustibles hydrocarbonés au moyen du procédé MixAlcoTM* » par **S. Taco-Vasquez** et **M.T. Holtzaple**. Ce procédé a la particularité d'associer une première étape fermentaire de transformation de la biomasse suivie d'une déshydratation et d'un traitement de cétonisation thermique. Les effluents ainsi obtenus sont alors distillés puis hydrogénés en alcools secondaires sur catalyseur à base de nickel de Raney. Pour finir, ces alcools sont oligomérisés sur zéolite HZSM-5 en hydrocarbures, qui après hydrogénation conduisent à des produits substituables à l'essence.

L'ensemble de ces articles montre la diversité des approches conduisant à des biocarburants de seconde génération. Au-delà d'une utilisation de la biomasse lignocellulosique, des réflexions sont conduites pour obtenir des substituts des produits liquides soit à partir d'algues autotrophes, soit par transformation de ressources comme les sucres par des voies microbiologiques :

- ainsi, **X. Montagne, P. Porot, C. Aymard, C. Querleu, A. Bouter, D. Lorne, J.-P. Cadoret, I. Lombaert-Valot** et **O. Petillon** présentent les conclusions des travaux du groupe de travail français Algogroup « *Algogroup : vers une vision partagée du possible déploiement de la conversion des algues en carburants* » qui a permis de faire une analyse partagée entre les différentes parties prenantes des filières algues en France. Les conclusions présentées indiquent qu'un important travail de recherche est encore nécessaire avant d'envisager un déploiement industriel d'une filière algues « Carburants » ;
- enfin, l'article « *Vers une production microbienne d'acides gras en vue de l'application biokérosène à partir de glucose et xylose* » par **M. Babau, J. Cescut, Y. Allouche, I. Lombaert-Valot, L. Fillaudeau, J.-L. Uribelarrea** et **C. Molina-Jouve** analyse les potentialités de la synthèse de lipides par la levure oléagineuse *Rhodotorula glutinis* à partir de sucres issus de ressources lignocellulosiques, lipides qui seront ensuite transformés pour la production de biojet fuels. Il est ainsi montré que *Rhodotorula glutinis* permet de consommer simultanément le glucose et le pentose, mais avec un rendement de conversion impacté par la valeur du rapport xylose/glucose.

Le traitement de la biomasse lignocellulosique montre tout son potentiel et on est en droit de penser que des applications industrielles tant sur les filières biochimiques que thermochimiques pourraient émerger dans les 15 années à venir. Pour les filières avancées, les voies microbiennes présentent des potentialités mais les recherches sont encore assez jeunes. Enfin, les microalgues demandent encore d'importants travaux pour arriver à une compétitivité économique et pour lever les verrous technologiques, en particulier liés aux bilans énergétiques.

En conclusion, nous espérons que ce numéro permettra au lecteur un intéressant parcours au travers des différents défis que le monde des biocarburants aura à relever dans les prochaines années et au travers des solutions envisageables pour permettre un développement significatif et en phase avec les attentes de la société de demain.

En vous souhaitant une bonne lecture

Sophie Jullian
Membre du comité éditorial OGST
Directeur Scientifique d'IFP Energies nouvelles

Xavier Montagne
Directeur Scientifique adjoint d'IFP Energies nouvelles

Editorial

SECOND AND THIRD GENERATION BIOFUELS: TOWARDS SUSTAINABILITY AND COMPETITIVENESS

To ensure a smooth ecological transition, reduce dependence on fossil fuels, meet the global demand for energy in the next 30-50 years, and fight against climate change arising from CO₂ emissions, the use of a mix of renewable energies is essential. Wood, agricultural resources, agricultural by-products, vegetal waste for energy purposes (among which may include micro and macro algae) constitute a source of biomass, the processing of which can lead to the production of biofuels for road and air transport, etc. However, a number of questions arise, such as:

- usage competition: agricultural resources are inherently dedicated to human food production and the question arises as to how far acceptable is their use for energy purposes. Wood and plant waste is already used for the production of heat;
- the estimation of available and accessible resources: this involves a real debate, and having a clear vision of the potential availability of the resource, its location, its harvesting method and ease of mobilisation is a real challenge;
- impacts on (direct and indirect) land uses, water resources, greenhouse gas emissions, and the wider environment with the implementation of sustainability criteria for which the methodologies of determination also pose real challenges;
- the global energy balance.

Moreover, by 2020 the European Community has set ambitious commitments regarding the market penetration of renewable energies, with a level of 10% for transport, and to have acceptable and accepted industrial solutions available to produce sufficient quantities are necessary.

For the 30 years that have passed, efforts for the production of bio-fuels have been targeted on resources rich in sugar and starch (beets, wheat, sugar cane) or oil resources (rape-seed, soybean, sunflower, palm), and these industries are therefore currently mature but are also controversial. In such context that limits the market penetration of these sectors, (the so-called first generation bio-fuels) turning to other resources, such as lignocellulosic biomass and aquatic resources, offers new opportunities. Thus, second-generation bio-fuels are derived from the processing of lignocellulose, the main component of plants. This resource is available in abundant quantities in various forms (wood, straw, plant waste) with the advantage of not competing with food. Different options are available for this processing, either through biochemical or thermo-chemical (pyrolysis and gasification) means, with the goal of producing either liquid substitutes for gasoline, gas oils, and jet fuels, or bi-methane that meet the required sustainability criteria. Alongside the biochemical and thermo-chemical processes, more exploratory pathways for the production of second generation bio-fuels are being considered based on biological pathways that can lead to heavy alcohols, hydrocarbons and lipids. These second-generation sectors should provide favourable energy balances and life cycle analyses.

Today second generation bio-fuels mobilise significant research and development forces to achieve the industrial opportunities on the 2020-2025 horizon, but beyond this new family have emerged third-generation bio-fuels that use an undomesticated resource: autotrophic algae. These algae, grown under certain conditions, can produce lipids, but there are also certain species of hydrocarbon-rich micro-algae, for which the announced productivities are significantly higher than those of terrestrial crops. In addition to growth, these algae can consume the CO₂ deriving from industrial fumes, which offers opportunities for the implementation of integrated production systems in a broad ecosystem. However, many obstacles currently limit the economic, energy and environmental viability of this new industry and the prospects for development are much more distant because it would require many solutions to enable large-scale production with an acceptable economic positioning and favourable energy balance.

It is in this context that the editorial board of the Oil & Gas Science and Technology journal found appropriate to propose a special issue on second-generation bio-fuels with an overture towards advanced bio-fuels. This issue aims to project into the next 30 years by presenting technological advances but also pointing out the difficulties and scientific obstacles of second generation bio-fuels.

By way of introduction, this issue proposes:

- first off, a bit of clarity concerning the biomass resource that is the cornerstone of the market penetration forecasts of biofuels. The first article proposed, “*Biomass Assessment: a Question of Method and Expertise*”, by **A. Thivolle-Cazat**, **E. Le Net**, **F. Labalette** and **S. Marsac** will highlight the methodological elements and barriers to be overcome to obtain an assessment and good understanding of the mobilization of resources to help meet the needs of users and authoritative bodies;
- secondly, the proposal of a tool rationalizing the formulation of fuels from alternative sources such as biomass. The article “*Rational Formulation of Alternative Fuels using QSPR Methods: Application to Jet Fuels*”, by **D.A. Saldana**, **B. Creton**, **P. Mougín**, **N. Jeuland**, **B. Rousseau** and **L. Starck** shows that the application of QSPR (Quantitative Structure Property Relationship) methods can enable the connection of the structure to the molecular properties. Thus, for a set of key fuel molecules, predictive models are established to propose formulation axes for land or aviation fuels.

We will look carefully at how biomass should be processed: whether after biochemical deconstruction and processing, or by thermo-chemical processing of the entire biomass, and a set of articles dedicated to pathways in the industrial development phase is proposed.

This analysis will begin with the biochemical pathway:

- the first of them, “*Upgrading the Hemicellulosic Fraction of Biomass into Biofuels*”, by **F. Ben Chaabane** and **R. Marchal** focuses on hemicelluloses. In fact, the recovery of this fraction of the biomass is essential to the profitability of second-generation processes. The authors describe two possible ways as to use hemicelluloses, aside from the very difficult fermentation method. The first is the use as a carbon source for cellulase production, the second is the acetone-butanol-ethanol (ABE) fermentation through anaerobic bacteria; the ABE mixture that is obtained can be used as a substitute for gasoline;
- the second article “*How Molecular Evolution Technologies can Provide Bespoke Industrial Enzymes: Applications to Biofuels*”, by **L. Fourage**, **J.-M. Sonet**, **F. Monot**, **G. Ravot** and **A. Margeot** shows how it is possible to improve the performance of the *Trichoderma reesei* fungus, an improvement that can lead to a reduction by a factor of 4 in the amount of enzyme cocktail necessary for the saccharification of pre-treated industrial biomass;
- the third article presents a summary of the European project, NILE, “*The NILE Project: Advances in the Conversion of Lignocellulosic Materials into Ethanol*”, by **F. Monot**, **A. Margeot**, **B. Hahn-Hagerdal**, **J. Lindstedt** and **R. Slade**. The NILE project, which

has linked the main European parties involved in the production of 2G ethanol and is led by IFPEN, has enabled work on the identification of new strains of enzymes dedicated to the conversion of cellulose to glucose, up the establishment of a pilot unit and including consideration of environmental and socio-economic aspects.

The thermo-chemical gasification pathways will then be addressed:

- presentation of the BioTfuel project, “*BioTfuel Project: Targeting the Development of Second-Generation Biodiesel and Biojet Fuels*”, by **J.-C. Vigié, N. Ullrich, P. Porot, L. Bournay** and **M. Hecquet** a cooperative project that presents an original concept for a complete chain of processes for BtL production that will be used as introductory support;
- in Fischer-Tropsch types of processes, the purification of the synthesis gas is a crucial step, especially concerning biomass as an initial load. The article “*Synthesis Gas Purification*”, by **D. Chiche, C. Diverchy, A.-C. Lucquin, F. Porcheron** and **F. Defoort** presents the set of challenges associated with this stage of purification and accurately describes the different purification technologies that can be applied to the loads in question;
- besides the purification of the synthesis gas, another major challenge for the biofuel production processes through the gasification of biomass is the management of the behaviour of inorganic species. The article “*Inorganic Species Behaviour in Thermochemical Processes for Energy Biomass Valorisation*”, by **K. Froment, J.-M. Seiler, F. Defoort** and **S. Ravel** summarizes the technological challenges related to these impurities and proposes improvements to be implemented in the processes;
- to complete the gasification sector, the article, “*Second Generation Gaseous Biofuels from Biomass to Gas Grid*”, by **O. Guerrini, M. Perrin** and **B. Marchand** focuses on the recovery channels of biomass through methanation presenting a technical, environmental and economic analysis.

Then a set of articles appears especially dedicated to the hydrothermal conversion of biomass and conversion by pyrolysis, and even conversion by catalytic hydro-liquefaction is proposed:

- **J. Barbier, N. Charon, N. Dupassieux, A. Loppinet-Serani, L. Mahé, J. Ponthus, M. Courtiade, A. Ducrozet, A. Le Masle, A.-A. Quoineaud** and **F. Cansell** describe the reaction pathways accompanying the thermo-chemical liquefaction of wood in hydrothermal treatment in the article, “*Correspondence Between Structure and Reactivity During Hydrothermal Conversion of Lignocellulosic Macromolecules*”. This work is based on a multi-technical analytical approach that identifies significant differences in reactivity between the various components of lignocellulosic biomass during hydrothermal conversion. The products from the two types of decomposition can be recombined to give rise to condensation products;
- the following article, “*Thermochemical Conversion of Lignin for Fuels and Chemicals: A Review*” by **B. Joffres, D. Laurenti, N. Charon, A. Daudin, A. Quignard** and **C. Geantet** presents different channels of lignin thermo-conversion for the production of either fuel or chemical intermediates. Thus, pyrolysis, solvolysis, hydrothermal conversion and hydro-conversion will be described, which will provide a clear overview;
- the case of the fast pyrolysis of biomass will then be addressed in the article, “*A Short Historical Review of Fast Pyrolysis of Biomass*”, by **D. Radlein** and **A. Quignard**. The relative progress in the flash pyrolysis processes, the quality of bio-oils as well as the utilization processes of these oils will be presented and analyzed. This overview will be complemented by an analysis of the difficulties encountered even in the high temperature reactor in the article, “*Biomass Fast Pyrolysis Reactors: A Review of a Few Scientific Challenges and a Related Recommended Research Topic*”, by **J. Lede**;
- it is well known that the bio-oils from flash pyrolysis processes must be retreated for fuel usage. One solution is co-processing with gas oil but this can lead to the deactivation of the hydro-treatment catalysts. The article, “*Membrane Fractionation of Biomass Fast*

- Pyrolysis Oil and Impact of its Presence on a Petroleum Gas Oil Hydrotreatment*”, by **A. Pinheiro, D. Hudebine, N. Dupassieux, N. Charon and C. Geantet** presents an approach to perform bio-oil separation in 4 phases along a membrane so as to identify the elements leading to the deactivation of the hydro-treatment catalyst;
- continuing along this process, the article, “*Hydrodeoxygenation of Phenolic Compounds by Sulphided (Co)Mo/Al₂O₃ Catalysts, a Combined Experimental and Theoretical Study*”, by **M. Badawi, J.F. Paul, E. Payen, Y. Romero, F. Richard, S. Brunet, A. Popov, E. Kondratieva, J.-P. Gilson, L. Mariey, A. Travert and F. Maugé** presents a catalytic channel to upgrade the bio-oils, and the catalysts (Co)Mo/Al₂O₃ appear as good candidates for the hydrodeoxygenation stages;
 - another approach for the production of biofuels involves the consideration of the transformation of sugars and polyols such as lignocellulose in light alkanes through bi-functional heterogeneous catalysis in aqueous phase. This is a new and innovative method. The article, “*Transformation of Sorbitol to Biofuels by Heterogeneous Catalysis: Chemical and Industrial Consideration*”, by **L. Vilcoq, A. Cabiac, C. Especel, E. Guillon and D. Duprez** present the different possible catalytic systems, the reactions involved and examples of industrial applications for these systems;
 - rounding out the conversion of biomass through heating methods, **S. Taco-Vasquez and M.T. Holtzaple** presents the MixAlco process “*Biomass Conversion to hydrocarbon fuels using the MixAlcoTM process*”. This process has the distinction of using a first fermentation stage to convert the biomass followed by dehydration and a ketonic heat treatment. The effluents thus obtained are then distilled and hydrogenated in secondary alcohols using a Raney nickel-based catalyst. Finally, these alcohols are oligomerised on zeolite HZSM-5 in hydrocarbons, which, after hydrogenation, lead to gasoline substitute products.

This set of articles demonstrates the diversity of approaches that lead to second-generation bio-fuels. Beyond the use of lignocellulosic biomass, reflections are underway to obtain substitutes for liquid products either from autotrophic algae or by the processing of resources such as sugars through microbiological means:

- also, **X. Montagne, P. Porot, C. Aymard, C. Querleu, A. Bouter, D. Lorne, J.-P. Cadoret, I. Lombaert-Valot and O. Petillon** present the conclusions of the French working group, Algogroup, “*Algogroup: Towards a Shared Vision of the Possible, Deployment of Algae to Biofuels*”, which has enabled the creation of a shared analysis that among the different stakeholders of the algae sector in France. The presented findings indicate that a significant amount of research is still needed before considering an industrial deployment of an algae fuel sector;
- finally, the article, “*Towards a Microbial Production of Fatty Acids as Precursors of Bio-kerosene from Glucose and Xylose*”, by **M. Babau, J. Cescut, Y. Allouche, I. Lombaert-Valot, L. Fillaudeau, J.-L. Uribelarrea and C. Molina-Jouve** analyzes the potential of lipid synthesis in the oleaginous yeast *Rhodotorula glutinis* from sugars arising from lignocellulosic resources, lipids, which are then processed for the production of bio-jet fuels. It is also shown that *Rhodotorula glutinis* can simultaneously consume glucose and pentose, but with a conversion efficiency affected by the value of the xylose/glucose ratio.

The treatment of lignocellulosic biomass shows its potential and we have the right to assume that industrial applications both from the biochemical as well as the thermochemical sectors could emerge within the next 15 years. For the advanced industries, microbial methods have potential, but the research is still at a relatively young stage. Finally, microalgae still require significant work to achieve economic competitiveness and to remove technological barriers, particularly related to energy balance.

In conclusion, we hope that this issue will allow the reader an interesting journey through the various challenges that the world of biofuels will face in the coming years and through the available solutions in order to enable a significant development in line with expectations of the tomorrow society.

We hope that you find this an interesting and valuable read.

Sophie Jullian

*Member of the Editorial Board of OGST
IFP Energies nouvelles Scientific Director*

Xavier Montagne

IFP Energies nouvelles Deputy Scientific Director