



Les carburants pour l'aéronautique

IFP Energies nouvelles (IFPEN) est un organisme public de recherche, d'innovation et de formation intervenant dans les domaines de l'énergie, du transport et de l'environnement. Sa mission est d'apporter aux acteurs publics et à l'industrie des technologies performantes, économiques, propres et durables pour relever les trois grands défis sociétaux du 21^e siècle : changement climatique et impacts environnementaux, diversification énergétique et gestion des ressources en eau. Son expertise est internationalement reconnue.

IFPEN poursuit 5 priorités stratégiques, indissociables et complémentaires dans l'accomplissement de sa mission d'intérêt général :

- produire à partir de sources renouvelables des carburants, des intermédiaires chimiques et de l'énergie,
- produire de l'énergie en réduisant l'impact sur l'environnement,
- développer des transports économes et à faible impact environnemental,
- produire à partir de ressources fossiles des carburants et intermédiaires chimiques à faible impact environnemental,
- proposer des technologies respectueuses de l'environnement et repousser les limites actuelles des réserves d'hydrocarbures.

Son école d'ingénieurs, partie intégrante d'IFPEN, prépare les générations futures à relever ces défis.

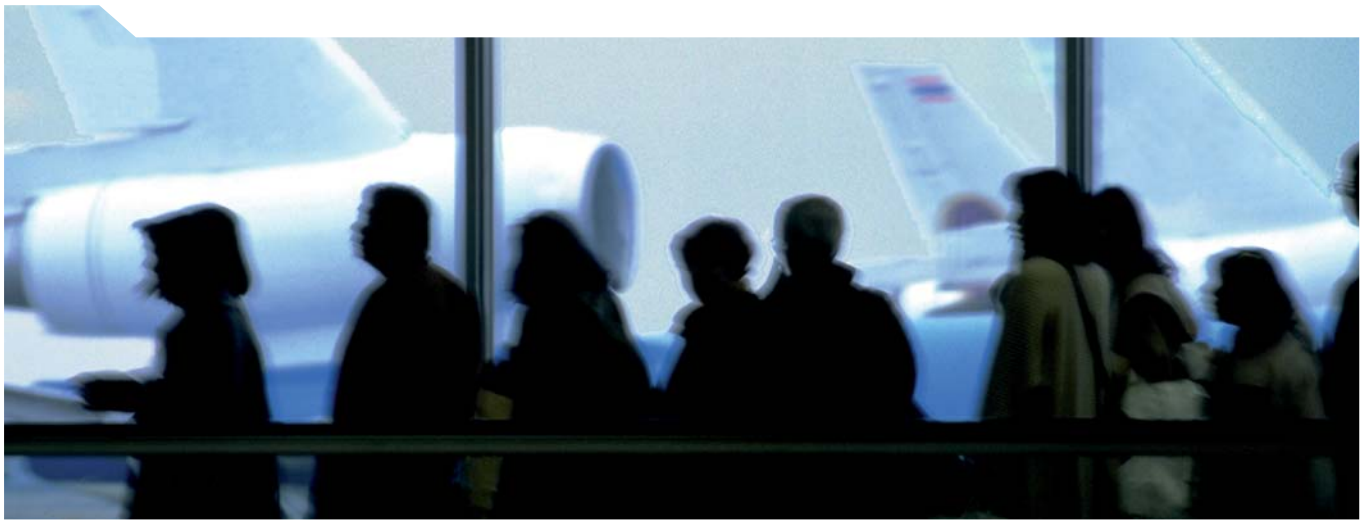


■ Produire à partir de sources renouvelables des carburants, des intermédiaires chimiques et de l'énergie

Pour lutter contre l'effet de serre responsable du changement climatique et limiter la dépendance du secteur des transports au pétrole, IFPEN travaille sur la production de biocarburants, d'intermédiaires chimiques et d'énergie à partir de la transformation de la biomasse. Il conçoit également des solutions technologiques pour exploiter les énergies marines.

■ Développer des transports économes et à faible impact environnemental

À partir de son expérience en motorisation, acquise en partenariat avec les plus grands constructeurs automobiles, IFPEN conçoit et finalise les solutions technologiques pour réduire toujours plus la consommation des véhicules et limiter au maximum leur impact sur l'environnement. Il travaille également à la mise au point de motorisations à faibles émissions de CO₂ pour le transport aérien.



Contexte et enjeux

Un secteur en forte croissance

Actuellement, environ 1 700 compagnies aériennes opèrent plus de 27 000 avions civils depuis plus de 3 600 aéroports dans le monde. Au total, plus de 29 millions de départs ont lieu chaque année, soit plus de 80 000 vols par jour. On estime ainsi qu'il y a en permanence en vol entre 500 000 et 1 million de personnes.

Le trafic aérien a connu des taux de croissance annuels moyens compris entre 5 et 6 % depuis le milieu des années 80, à l'exception des périodes de crise (2001, 2009). Cette croissance exceptionnelle devrait se maintenir dans les décennies à venir, selon le même rythme soutenu de développement. Si ces prévisions devaient se réaliser, cela entraînerait un doublement du trafic au niveau mondial d'ici à 2025.

Dans un contexte de raréfaction des énergies fossiles et de risque de changement climatique, les conséquences environnementales du transport aérien doivent être prises en compte.

Parmi les mesures envisagées pour limiter la demande de kérosène liée à la croissance du trafic aérien, l'amélioration de l'efficacité énergétique des avions (et donc la baisse de leur intensité carbone)



Le transport aérien représente aujourd'hui environ 8 % de la consommation de pétrole.

Les projections de l'AIE (Agence internationale de l'énergie) en 2050 tablent sur une demande énergétique pour le transport aérien mondial de respectivement 630 Mtoe et 530 Mtoe pour les scénarii Baseline et Blue Map, ce qui correspondrait à 11 et 17 % de la demande pétrolière mondiale.

est une priorité. Elle passe principalement par une meilleure gestion du trafic et des avions existants (changement des moteurs par exemple), ainsi que par la conception de nouveaux avions plus performants (liée au taux de renouvellement de la flotte).

À savoir ■■■

Certaines coupes pétrolières (naphtas lourds) sont utilisables soit comme kérosène, soit comme essence. De même certains gazoles (dits légers) peuvent être utilisés comme kérosène ou comme gazole. Cette flexibilité permet au raffinage de répondre à la demande. Ainsi aux États-Unis, une part des coupes kérosènes sert à satisfaire la demande importante d'essence, et en Europe environ 50 %

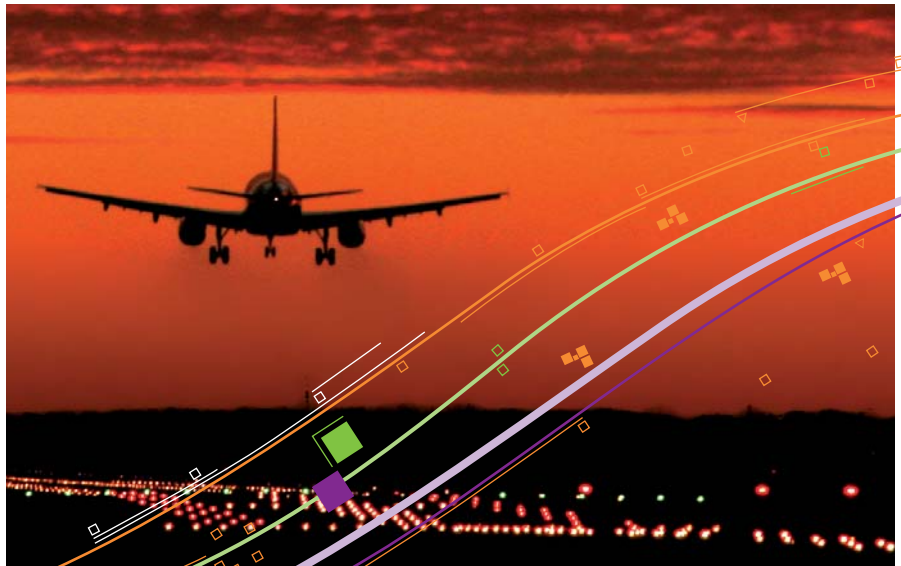
Croissance et pollution

Le transport aérien a un double impact sur l'environnement : local (pollution atmosphérique, bruit) et global (réchauffement climatique, émissions de gaz à effet de serre).

En ce qui concerne la pollution locale, les principales émissions nocives des aéronefs sont constituées d'oxydes d'azote (NOx), de particules et d'hydrocarbures imbrûlés. La réduction de ces émissions n'est pas simple, étant donné qu'aucun système de post-traitement similaire à ceux utilisés pour le transport terrestre n'est adaptable à une turbine. Les principaux moyens d'action sont d'améliorer l'efficacité de fonctionnement et la technologie des turbines. Les carburants alternatifs peuvent dans ce cadre

jouer un rôle fondamental : par leur faible teneur en soufre et leur composition chimique simple, les biocarburants actuellement envisagés peuvent en effet permettre une réduction substantielle des émissions de particules et de produits soufrés.

En termes de pollution globale, le trafic aérien est responsable d'émissions, directes ou indirectes, de plusieurs gaz à effet de serre : CO₂ (2 % des émissions de CO₂ globales selon les chiffres de l'IATA — *International Air Transport Agency*), mais aussi ozone troposphérique, méthane, etc.



2

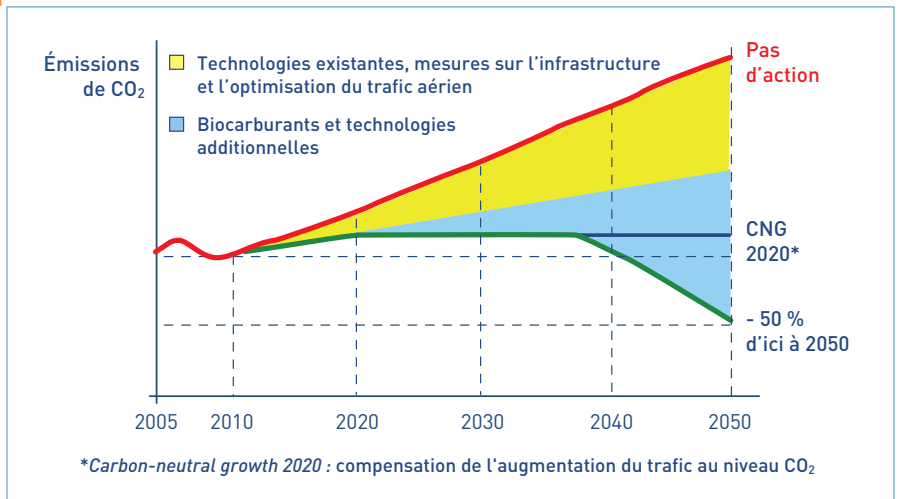
Des engagements ambitieux

Des objectifs ambitieux en termes d'incorporation de biocarburants et de réduction des émissions de GES¹ ont été annoncés pour le transport, et en particulier l'aviation. Dans la dernière directive de la Commission européenne et du Parlement relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (Directive 2009/28/CE), un objectif d'incorporation d'au moins 10 % d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie du secteur des transports doit être atteint dans chacun des États membres à l'horizon 2020.

De plus, les acteurs de l'industrie aéronautique, regroupés au sein de l'IATA, ont annoncé en 2010 :

- l'augmentation de l'efficacité énergétique de 1,5 % par an jusqu'en 2020,
- la limitation des émissions de CO₂ à partir de 2020 (*carbon-neutral growth*),
- la réduction des émissions de CO₂ de 50 % en 2050 par rapport à leur niveau de 2005.

¹ Gaz à effet de serre

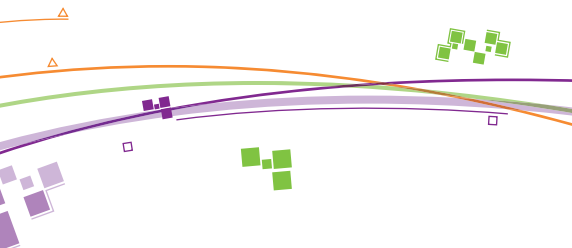


Les nombreux travaux menés afin de réduire la consommation des aéronefs ont d'ores et déjà abouti à des progrès importants. Ainsi, la consommation de carburant par passager/km a chuté de deux tiers entre un avion de ligne des années 60 et un appareil de type moderne (source : Direction générale de l'aviation civile 2003).

À savoir ■■■

Une étude réalisée dans le cadre du projet européen Alfa-Bird anticipe une hausse du transport aérien mondial d'environ 4,7 % par an en moyenne à l'horizon 2025. À ce rythme de croissance du trafic, la demande mondiale de kérosène devrait augmenter d'environ 38 % entre 2008 et 2025, soit un taux de croissance annuel moyen d'environ 1,9 %.

Ce découplage entre la croissance du trafic aérien et celle de la demande de kérosène correspondante est fondé sur l'hypothèse d'une amélioration de l'efficacité énergétique de la flotte mondiale de 32 % entre 2008 et 2025. Le progrès technologique apparaît bien comme une condition essentielle à la réduction de l'impact environnemental du transport aérien.



Pour atteindre ces objectifs, l'industrie aéronautique compte sur la pluralité des options technologiques disponibles dès maintenant ou dans un futur proche. Les solutions concernent l'allègement des appareils, l'amélioration de l'aérodynamisme des nouveaux fuselages, la réduction de la consommation des moteurs, la fluidification du trafic et enfin le remplacement d'une partie du kérosène par des carburants alternatifs au bilan *Well to Wake*² plus favorable en termes d'émissions de CO₂.



Un travail en partenariat

Les travaux d'IFPEN dans le domaine des carburants alternatifs pour l'aviation sont menés en partenariat avec les principaux acteurs du domaine de l'aéronautique (Airbus, Dassault, EADS, Onera, Snecma, etc.) dans le cadre de projets collaboratifs :

- Calin³, projet mené par Airbus, où IFPEN étudie la stabilité thermique des biocarburants. Le projet a reçu en septembre 2010 le trophée du pôle de compétitivité Aerospace Valley dans la catégorie "Développement durable",
- Swafea⁴, projet européen qui propose une feuille de route pour le déploiement à moyen terme des carburants alternatifs, en étudiant les conditions technologiques, économiques et sociales.

Des carburants alternatifs drop in

Les carburants alternatifs *drop in* peuvent être incorporés au kérosène conventionnel en toutes proportions dans un moteur d'avion sans en perturber les propriétés. Ils doivent en particulier présenter les caractéristiques suivantes :

- une distribution mondiale liée aux vols intercontinentaux imposant la mise en place de critères de production des carburants alternatifs avec une qualité constante au niveau international,
- une durée de vie importante des aéronefs (plus de 30 ans en moyenne) imposant une compatibilité des carburants alternatifs avec les carburants existants sans aucune modification fondamentale de l'architecture du moteur ou de l'aéronef,
- pour assurer la sécurité des vols et réduire les risques d'incidents, chaque élément de l'aéronef doit subir une série de tests avant certification. Il en est de même pour le carburant qui doit, par une procédure de certification complexe, démontrer sa totale compatibilité avec l'ensemble des organes moteur et des matériaux en contact avec le carburant (de la logistique-distribution à la combustion),
- un mode d'utilisation extrêmement contraignant. L'emploi des aéronefs entraîne une grande variabilité des conditions d'utilisation du carburant : variabilité thermique (entre près de - 60 °C en très haute altitude et près de + 50 °C lors du stationnement sur le tarmac),

variabilité de pression (pression atmosphérique au sol, pression de l'ordre de 0,3 bar en haute altitude).



Le déploiement des carburants alternatifs dans l'aéronautique se heurte à des contraintes très spécifiques (sécurité, logistique, température, etc.). À court et moyen termes, seules les solutions drop in peuvent être envisagées, avec des carburants présentant des propriétés proches de celles du kérosène et ne nécessitant pas de changements radicaux dans les architectures d'équipements et infrastructures, compte tenu du poids des investissements dans le transport aérien.



Le développement de la recherche de carburants alternatifs

pour l'aéronautique apparaît fondamentale pour la pérennité du transport aérien. Parmi les enjeux, on peut notamment citer le défi énergétique (assurer le ravitaillement des aéronefs, pour lesquels les carburants liquides semblent être, à court et moyen termes, la seule solution viable), économique (les carburants représentent, pour une compagnie aérienne, plus de 35 % du coût opérationnel d'un vol long courrier), géopolitique (diversification des ressources) et environnementales. Ce dernier critère guide les recherches actuelles sur les biocarburants.

2 Du puits au sillage

3 Carburants ALternatifs et INnovations en combustion

4 Sustainable Way for Alternative Fuels and Energy for Aviation

Quelles technologies pour les carburants alternatifs au kérosène fossile ?

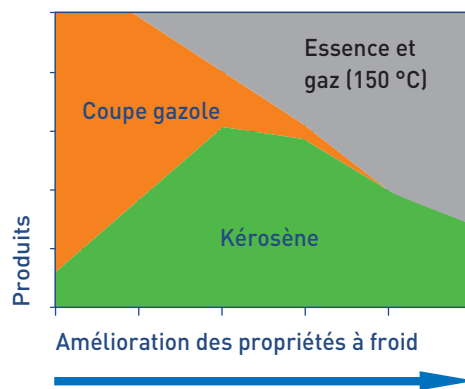
Les huiles végétales

L'une des technologies étudiées permet de transformer des huiles végétales ou des graisses animales, riches en structures triglycérides et/ou acides gras, en coupes kérosènes paraffiniques constituant une alternative aux kérosènes issus de charges fossiles.

Le procédé consiste à traiter ces huiles ou ces graisses en présence d'hydrogène, de manière à éliminer l'oxygène qu'elles contiennent et de produire des HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*), purement paraffiniques, exemptes de soufre et d'aromatiques. Une deuxième étape d'hydroisomérisation peut être

nécessaire pour atteindre les propriétés à froid normalisées. Le procédé possède le grand avantage d'être flexible, dans la mesure où il permet de produire, en fonction des besoins, la quantité de produit souhaité : soit une coupe kérosène avec des propriétés à froid ajustables, incorporable en toutes proportions avec les kérosènes issus de sources fossiles ; soit un produit situé à 100 % dans l'intervalle de distillation des gazoles, doté d'excellentes qualités en termes de cétane.

L'enjeu majeur de la filière HVO est de disposer de ressources qui ne sont en compétition ni avec l'alimentaire, ni avec l'occupation des sols, et en quantité suffisante.



Des expérimentations en vol ont déjà été effectuées par l'aviation commerciale, utilisant en mélange des biokérosènes sur au moins un des moteurs.

4

Compagnies	Type d'aéronef	Type de carburant	Date
Air New Zealand	Boeing 747-400 (1 moteur)	50 % HVO ex-jatropha + 50 % jet A1	décembre 2008
Continental Airlines	Boeing 737-800 (1 moteur)	50 % HVO ex-mélange huiles jatropha et algales + 50 % jet A1	janvier 2009



Procédé Vegan™

IFPEN travaille sur l'hydrogénation des huiles végétales pour la production de base kérosène de très haute qualité. Une version du procédé, développée avec Axens, a été mise sur le marché en 2011 sous le nom de Vegan™.



Projet BioTfuel

Lancé en 2010, le projet BioTfuel vise à développer une chaîne de production de biocarburants de 2^e génération de type gazole et kérosène. Il doit déboucher en 2017 sur la mise au point d'un procédé intégré, compétitif et durable, permettant de traiter la biomasse avec d'autres ressources, comme des résidus pétroliers ou du charbon (cotraitement). Il rassemble des organismes de R&D (IFPEN et le CEA) et des industriels (Axens, Sofiprotéol, Total et Uhde).

Le biokérosène de synthèse

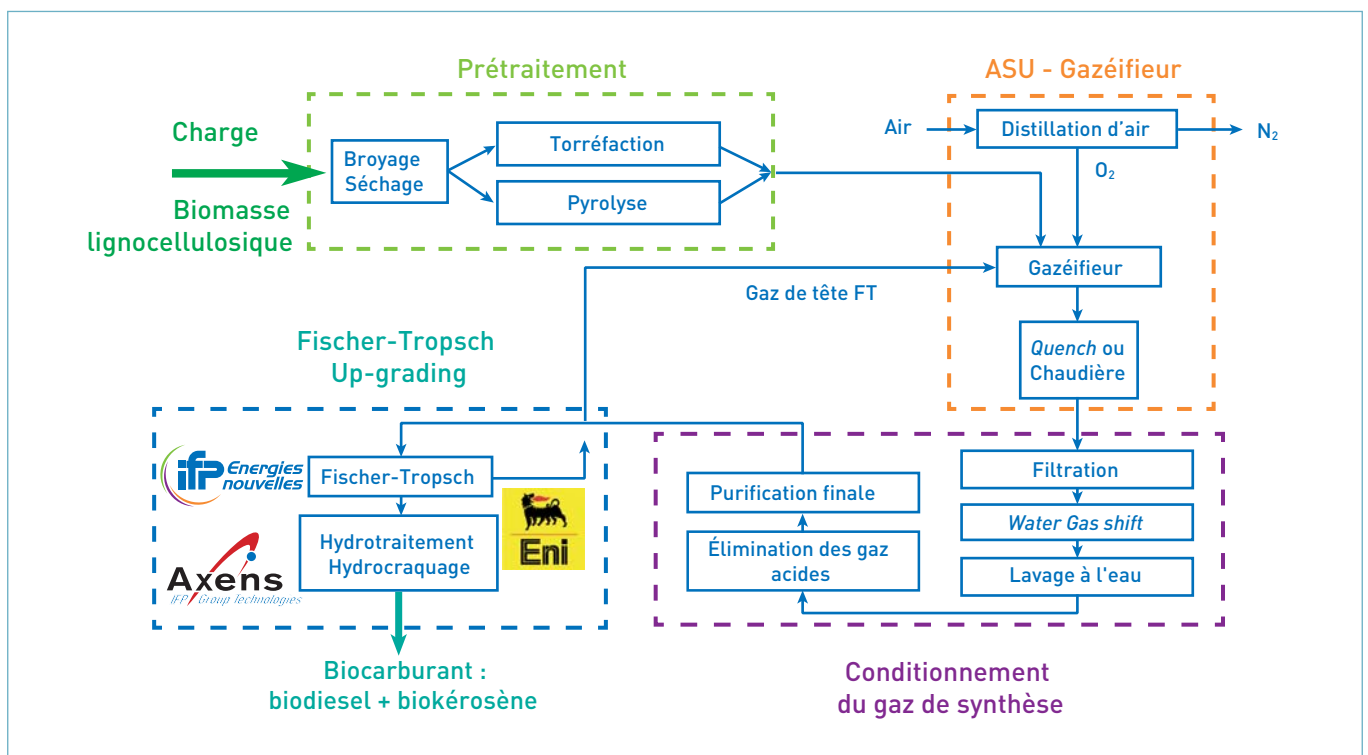
La voie BtL (*Biomass to Liquids*) consiste à convertir la biomasse lignocellulosique (résidus de bois, pailles de céréales, déchets forestiers) en carburants de synthèse (biokérosène et biodiesel). La chaîne de procédés comprend quatre étapes : le prétraitement de la biomasse, la gazéification, la purification du gaz de synthèse et la synthèse Fischer-

Tropsch (FT), qui permet de produire des cires hydrocarbonées.

Ces dernières doivent subir une dernière étape d'hydroisomérisation, qui permet d'orienter la production, en fonction des besoins, vers des coupes kérosène, diesel voire naphta. La fraction kérosène obtenue par voie BtL est de très bonne qualité, exempte de soufre et autres impuretés.

Pour les trois premières étapes de prétraitement, gazéification et purification, les technologies existent mais elles présentent des degrés de maturité inégaux et ne sont utilisées en général que pour traiter des charges fossiles. Il faut donc, d'une part, les adapter aux spécificités de la biomasse et, d'autre part, lever les verrous technologiques existants pour qu'elles fonctionnent de façon optimale à l'échelle industrielle.

5



Les autres filières potentielles

D'autres solutions alternatives sont envisageables au-delà de l'HVO et du BtL. Les voies GtL (*Gas to Liquids*) ou CtL (*Coal to Liquids*), issues respectivement du gaz et du charbon, permettent de diversifier l'approvisionnement mais ne peuvent pas, en l'état actuel des technologies, atteindre des performances environnementales meilleures que celles de la voie pétrolière classique. Sans être exhaustif, on peut citer trois autres voies potentielles de production de biokérosène, moins matures que les précédentes : l'EtK, la transformation chimique des sucres et l'utilisation de la pyrolyse rapide.

Ethanol to Kerosene (EtK)

IFPEN étudie notamment la transformation de l'éthanol, voire d'autres alcools, en kérosène (EtK). Utilisé comme charge, l'éthanol peut être produit soit par fermentation de sucres ou d'amidon (1^{re} génération), soit à partir de lignocellulose, préalablement transformée en sucres. La production d'éthanol à partir des sucres issus des macroalgues est également une voie à étudier.

La transformation chimique des sucres

La transformation des sucres peut aussi être effectuée directement par voie chimique catalytique. Les principaux freins sont le rendement matière et la diversité des produits obtenus, qui limitent fortement le rendement final vers la coupe kérosène.

La pyrolyse rapide

Des procédés de pyrolyse rapide de la biomasse existent, qui permettent de la liquéfier directement. Pour faire de ce liquide un carburant de type kérosène, le verrou majeur réside dans la faisabilité d'un post-traitement durable et économique du liquéfiant.

Garantir l'adéquation moteurs-carburants

Toutes les recherches menées actuellement concernent exclusivement la mise au point de carburants *drop in*, qui doivent respecter la norme ASTM⁵ D1655 (*Specification for Aviation Turbine Fuels*) et être approuvés selon une norme spécifique, l'ASTM D4054 (*Guidelines for the qualification and approval of new*

aviation turbine fuels and additives). Cette norme prévoit un certain nombre d'étapes de validation, relatives au carburant lui-même (respect des spécifications) et à son fonctionnement avec les turbines (essais, vols de démonstration). Lors de tests, le carburant doit notamment faire la preuve de son innocuité vis-à-vis des systèmes existants. L'ensemble est validé, sous la forme d'un rapport de recherche, par les motoristes et les aviateurs.

À plus long terme, le développement de nouveaux carburants pourrait nécessiter une optimisation des organes moteur afin de tirer pleinement partie de leurs propriétés. De tels développements devront là aussi se faire dans un souci constant de sécurité. Ainsi, toute modification améliorant les turbines devra garantir sa totale compatibilité avec l'utilisation des kérosènes fossiles ou alternatifs.

Projet européen Alfa-Bird

Au sein d'Alfa-Bird, IFPEN pilote le 1^{er} sous-projet, chargé d'évaluer le potentiel de différents carburants alternatifs pour l'aéronautique d'un point de vue technique, ainsi que leur impact sur le fonctionnement des turbines. Parmi eux figurent des carburants de synthèse à partir de biomasse, de gaz ou de charbon, des carburants HVO, des esters et des dérivés de sucres.



Parmi les solutions technologiques étudiées pour produire des carburants alternatifs au kérosène fossile, certaines sont déjà opérationnelles, d'autres restent à développer. Toutes sont confrontées au même défi : celui de la disponibilité de la ressource.

5 American Society for Testing and Materials



Quel niveau de substitution ?

La disponibilité des ressources

Parmi les biocarburants utilisables dans l'aviation, on retrouve des technologies mobilisant trois types de ressources biomasse : les ressources huileuses pour la production d'HVO, la biomasse lignocellulosique pour la production de BtL, et à plus long terme, les plantes productrices de sucres pour l'obtention d'éthanol (voie EtK). Or, il en est déjà fait de nombreux usages dans différents secteurs, et notamment pour la production d'énergie. Il convient donc de développer de nouvelles ressources capables de répondre à la fois aux besoins croissants et aux différentes contraintes économiques et environnementales.

Les ressources en huiles

Les principales cultures terrestres oléagineuses envisagées pour la production d'HVO sont la palme, le colza et le soja, présentant un débouché d'abord alimentaire, et servant également à la production de biodiesel routier. Pour garantir la non compétition directe avec l'alimentaire, sont envisagées des ressources huileuses actuellement non commercialisées sur les marchés alimentaires, et potentiellement cultivables sur terres non agricoles,

comme le jatropha, la caméline et, de façon plus prospective, les microalgues lipidiques.

Le jatropha, arbuste poussant en zone aride et subtropicale, produit des fruits contenant de l'huile non comestible. La caméline, plante des zones tempérées, se révèle sobre en intrants. Toutes deux sont actuellement en cours de domestication. Leur potentiel de développement est lié à la mise en état et la valorisation des terres dites marginales ou abandonnées dans les pays en développement.

Pour en améliorer le rendement, si la culture intensive devient nécessaire, les besoins en eau et en intrants augmenteront d'autant. Par ailleurs, le caractère non alimentaire de ces ressources peut, à l'avenir, être susceptible d'évoluer (cf. exemple du colza qui fut en son temps non comestible).

Quant aux microalgues lipidiques en milieu aquatique, leur productivité théorique en huile est significativement supérieure à celle des plantes terrestres (20 fois plus élevée à l'échelle laboratoire) et leur potentiel de développement peu ou pas lié à la disponibilité des terres agricoles. Cependant, une disponibilité en eau et en intrants est requise pour toutes les espèces. Pour les systèmes autotrophes (photosynthèse), une énergie lumineuse importante est nécessaire. Pour les systèmes hétérotrophes, il faut assurer une "alimentation" en sucre ou équivalent, ce qui pose alors la question de la production durable de ce sucre.

Pour que cette filière devienne industrielle, il faudra développer une maîtrise des briques technologiques ainsi que leur intégration :

- la sélection et les conditions de production/reproduction des souches,



- les moyens et les modes de culture,
- le transport et le prétraitement,
- les conditions d'extraction et de récupération de l'huile,
- la valorisation des coproduits,
- les conditions de transformation des lipides en carburants,
- la qualité des produits.

D'importants verrous technologiques restent encore à lever (mode de culture des algues, bilans économique et environnemental de la filière), qui ne permettent pas d'envisager une production massive à court terme.

Les ressources en biomasse lignocellulosique

Pour la voie BtL, la ressource envisagée est une biomasse à forte productivité en matière sèche et sans débouché alimentaire. Il s'agit donc de mobiliser des sous-produits agricoles et forestiers (pailles, résidus, bois d'élagage, etc.), ainsi que des cultures dédiées telles que le miscanthus, le switchgrass, les taillis à courte rotation, etc. Ces dernières sont en cours de domestication et nécessiteront, pour leur implantation, la mobilisation de surfaces agricoles, voire forestières, existantes.



Le développement des filières biodiesel apparaît d'ores et déjà limité à moyen terme, avec des productions d'huiles mobilisées à près de 50 % pour le biodiesel de colza en Europe. À l'échelle mondiale, ces mêmes huiles sont utilisées à environ 40 % pour d'autres usages que l'alimentaire, dont près de 10 % pour l'énergie. En appoint local, on peut également utiliser des huiles usagées et des graisses animales.

À terme, on estime le potentiel de valorisation énergétique globale de la biomasse lignocellulosique à environ 2 Gtep/an.

La disponibilité réelle de la biomasse pour l'énergie demeure très dépendante des politiques de soutien aux filières. Si le gisement en biomasse est potentiellement étendu, d'importants efforts restent à mettre en place pour la rendre plus durablement accessible (mise en gestion des forêts sous-exploitées, réhabilitation des terres marginales/abandonnées, mise au point des logistiques d'approvisionnement, développement des connaissances de la biomasse aquatique, etc.).

Contraintes et incitations réglementaires

La création d'une norme relative aux contraintes techniques de

mélange entre le kérosène fossile et les carburants alternatifs est actuellement en cours. Le premier carburant alternatif approuvé dans l'aviation fut un mélange à 50 % avec un CtL mis au point par Sasol dans les années 90. En 2009, une nouvelle spécification ASTM D7566 a été approuvée pour un mélange à 50 % pour l'ensemble des carburants synthétiques Fischer-Tropsch (CtL, GtL, BtL). Concernant les huiles végétales hydrogénées, le processus d'approbation pour un mélange à 50 % doit s'achever en 2011.

Pour que l'utilisation des carburants ex-biomasse se fasse dans des conditions durables d'un point de vue environnemental et qu'ils soient éligibles à l'objectif communautaire (10 % d'énergie renouvelable dans les transports d'ici à 2020), un certain nombre de critères doivent être respectés. Parmi eux, des seuils minimum de réduction des émissions

de GES, ainsi que des critères quant à l'utilisation des terres mobilisées pour la production de la biomasse.

Si la plupart des filières biocarburants lignocellulosiques, et en particulier le BtL, devraient répondre à ces exigences environnementales, certaines filières HVO pourraient ne pas être éligibles selon le mode de production de la ressource huileuse. La prise en compte du changement d'usage des sols dans les bilans pourrait également remettre en cause certaines filières si des terres venaient, par exemple, à être déforestées pour une culture dédiée à l'énergie.



Fixer le seuil d'incorporation à 50 % exige que le biokérosène produit possède des

qualités drastiques, en particulier en ce qui concerne ses propriétés à froid. Or pour garantir ces propriétés, le procédé de production perd beaucoup en rendement. Une norme définie sur la base d'un niveau d'incorporation de 10 à 20 % pourrait permettre, moyennant la réalisation de travaux de certification, d'assouplir les spécifications du biokérosène, et par conséquent, d'en améliorer de presque 10 points le rendement à l'hectare.

À savoir ■■■

Le potentiel mondial de valorisation énergétique de la biomasse lignocellulosique est estimé à 2 Gtep/an. Cette enveloppe maximale disponible au niveau mondial ne prend pas en compte les obstacles d'exploitation (contraintes géographiques, géopolitiques, climatiques, etc.). Elle est à répartir entre les différents usages tels que

production d'énergie, industries chimiques et production de carburants (transports terrestre, maritime et aérien). Pour une répartition efficace des usages de la ressource, il est indispensable de coordonner les objectifs de production de bioénergies dans les différents secteurs.

Normes de mélange des carburants	Depuis 2010 : possibilité de mélange jusqu'à 50 % en volume de carburant FT (dont le BtL) dans le kérosène classique.	En cours de mise au point : mélange à hauteur de 50 % en volume de HVO dans le kérosène classique.
Objectifs de production/réduction	IATA : réduction des émissions de GES de l'aviation de 50 % en 2050 par rapport à 2005.	Commission européenne Livre Blanc transport 2011 : 40 % de substitution du kérosène fossile par des carburants à faibles émissions de GES en 2050.
Critères d'éligibilité des biocarburants à l'horizon 2020	2017 : la réduction des émissions de GES relative à l'utilisation des biocarburants est d'au moins 50 % par rapport à la référence fossile. 2018 : cette réduction passe à au moins 60 % pour les nouvelles installations.	Les biocarburants ne doivent pas être produits à partir de matières premières provenant de terres : <ul style="list-style-type: none"> • de grande valeur en termes de diversité biologique⁶, • présentant un important stock de carbone⁷, • qui sont des tourbières depuis 2008.

⁶ Forêts primaires, zones affectées à la protection de la nature, à la protection d'écosystèmes ou d'espèces rares, prairies naturelles à grande valeur sur le plan de la biodiversité, etc.

⁷ Zones humides, zones forestières continues

Feuille de route

La maturité technologique et économique des filières lignocellulosiques (BtL) reste encore à démontrer, mais par rapport aux filières huiles (HVO), elles semblent disposer de plusieurs avantages :

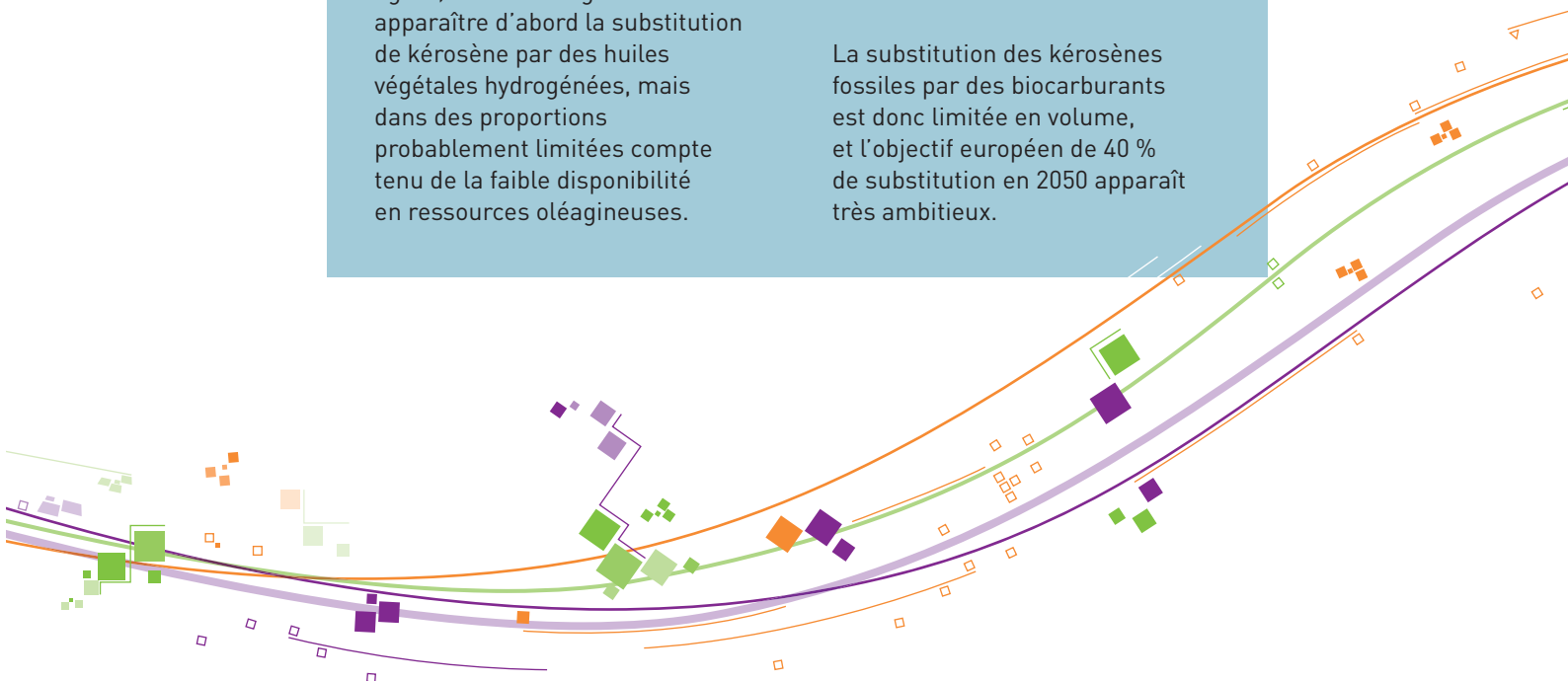
- potentiel en biomasse plus large,
- meilleur rendement à l'hectare,
- meilleur bilan environnemental.

À ce jour, le coût de production des biokérosènes est sensiblement supérieur à celui des kérosènes d'origine fossile. La puissance publique doit donc intervenir pour permettre l'émergence de ces filières et assurer leur viabilité à long terme. Sous réserve que des mesures suffisantes soient prises à cet égard, il est envisageable de voir apparaître d'abord la substitution de kérosène par des huiles végétales hydrogénées, mais dans des proportions probablement limitées compte tenu de la faible disponibilité en ressources oléagineuses.

Aux alentours de 2020-2025 la coproduction de biokérosène synthétique dans les unités BtL apporterait un supplément de substitution. Le BtL serait potentiellement suivi d'un relais de croissance de la production d'HVO à partir d'huiles algales.

À l'horizon 2030, un scénario optimiste de mobilisation de la ressource pour le secteur aéronautique, soit 15 % de la production mondiale d'huiles et 20 % du potentiel biomasse lignocellulosique, permettrait un taux de substitution d'environ 15 %. Ce dernier pourrait être étendu par un réel développement des filières algales, des moyens supplémentaires de mobilisation des ressources lignocellulosiques et l'utilisation de la voie EtK.

La substitution des kérosènes fossiles par des biocarburants est donc limitée en volume, et l'objectif européen de 40 % de substitution en 2050 apparaît très ambitieux.



Centre de résultats Procédés

IFP Energies nouvelles (IFPEN) a pour objectif de mettre au point de nouveaux procédés plus économes, plus propres et sûrs pour la production de combustibles, de carburants, d'intermédiaires chimiques et d'hydrogène à partir de toutes les sources de carbone disponibles (pétrole, gaz, charbon et biomasse). Pour les carburants, il s'agit d'apporter des solutions innovantes pour le moyen terme – carburants exempts de soufre, plus riches en hydrogène et comportant une fraction significative de composants d'origine renouvelable. Pour la production d'intermédiaires chimiques, IFPEN s'attache en particulier à identifier des voies innovantes à partir de biomasse.

Les programmes de recherche concernent :

- la conversion de la biomasse vers les carburants,
- la conversion de la biomasse vers les intermédiaires chimiques,
- les procédés de conversion des résidus et des bruts lourds,
- les procédés de conversion et de purification des distillats moyens,
- la production et la purification des essences,
- la production d'hydrogène,
- la production de bases pétrochimiques,
- la transformation du gaz en carburants,
- la transformation du charbon en carburants.

Innovater les énergies

IFP Energies nouvelles – Centre de résultats Procédés
Tél. : +33 1 47 52 67 29 – Fax : +33 1 47 52 70 71

IFP Energies nouvelles
1 et 4, avenue de Bois-Préau – 92852 Rueil-Malmaison Cedex – France
Tél. : +33 1 47 52 60 00 – Fax : +33 1 47 52 70 00

Établissement de Lyon
Rond-point de l'échangeur de Solaize – BP 3 – 69360 Solaize – France
Tél. : +33 4 37 70 20 00

www.ifpenergiesnouvelles.fr