

Feuille de route pour le développement de filières biocarburants aéronautiques en France

Synthèse du rapport ANCRE, Juin 2018

L'Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie, ANCRE, a pour mission d'améliorer la coordination et renforcer l'efficacité des recherches sur l'énergie menées par les organismes publics nationaux. Pour ce faire, elle produit des feuilles de route de Recherche et Développement (R&D) et des scénarios technologiques de transition énergétique.

La présente feuille de route portée par le groupe programmatique « Energies issues de la biomasse » (GP1) de l'ANCRE et un comité de suivi *ad hoc* (recherche / institutionnels / industriels), vise à identifier les enjeux et les forces en présence françaises tant académiques qu'industrielles. Ce travail fait suite à un *Position Paper* (2017) pointant le manque de prise en compte des besoins spécifiques de l'aviation dans les enjeux de la transition énergétique en France¹. Cette réflexion s'inscrit dans la volonté de répondre aux besoins de l'aviation (durabilité, sûreté, sécurité, efficacité et compétitivité), mais aussi de se mobiliser pour une valorisation plus efficace des ressources en biomasse pour l'énergie, dans une perspective de décarbonation de l'économie et de création de valeur et d'emploi sur le territoire. Cette feuille de route traite donc essentiellement des carburants alternatifs d'origine biologique (ou biocarburants), par opposition aux voies alternatives fondées sur d'autres ressources telles que les plastiques, les gaz industriels, l'hydrogène électrolytique², etc.

Les biocarburants : un des leviers pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre du transport aérien

Les émissions de CO₂ du transport aérien représentent environ 2 % des émissions globales de CO₂ tous secteurs confondus et 13 % des émissions du seul secteur des transports. Compte tenu du doublement du nombre de passagers attendu d'ici 2036 (perspectives IATA³ du 24/10/2017), et en dépit des efforts technologiques du secteur, ces proportions devraient augmenter si aucune action n'était menée. Pour répondre au défi du changement climatique, les Etats membres de l'OACI⁴ et les acteurs privés du secteur, représentés par l'ATAG⁵, ont fixé des objectifs d'amélioration de l'efficacité énergétique des avions ainsi qu'un **objectif de stabilisation des émissions de CO₂ du transport aérien à partir de 2020** (*Carbon Neutral Growth* - CNG). Pour le plus long terme, l'ATAG a également entériné l'objectif de **réduction globale des émissions de CO₂ du secteur de 50 % à horizon 2050**, par rapport à leur niveau de 2005.

Pour atteindre ces objectifs, les acteurs du secteur et les Etats membres de l'OACI ont identifié un ensemble de mesures incontournables parmi lesquelles le déploiement de **carburants alternatifs durables de type drop-in⁶ (en particulier les biocarburants)**. Un système de compensation et de réduction des émissions de CO₂ pour l'aviation internationale (le dispositif CORSIA⁷ de l'OACI) sera mis en place ; les carburants alternatifs s'y retrouvent dès 2021 (phase pilote). Par ailleurs, dans la prochaine version de la Directive Energies Renouvelables attendue courant 2018, l'Europe envisage d'intégrer le secteur de l'aviation dans les objectifs ENR⁸ du secteur transport.

De son côté, l'Etat français a signé fin 2017 un partenariat public/privé sous la forme d'un Engagement pour la Croissance Verte (ECV) relatif à la mise en place d'une filière de biocarburants aéronautiques durables en France, issus de biomasses de type déchets. Si des travaux en cours visent donc à étudier les conditions de déploiement de ces filières biocarburants aéronautiques (viabilité économique, contraintes logistiques, etc.), la feuille de route de l'ANCRE vise à évaluer le potentiel des filières en France en vue d'identifier les priorités de recherche et les moyens à mettre en place.

Les acteurs de la R&D en France, hors industrie

(recherche ; *institut technique/pôle*)

- *Productions végétales et systèmes de culture* : FCBA, GIE Arvalis/Onidol, INRA, ONF
- *Sélection des souches, Ingénierie de souches, Culture des micro-organismes* : CNRS-GEPEA, CNRS-CEA-IBB, CNRS-LBM, IFFEN, Ifremer, INRA-BIMLip, INRA-BBF, INRA-Agro ParisTech MICALIS, INSA INRA-CNRS-LISBP, Pôle AsTech Paris région, Pôle IAR
- *Production de lipides ex-micro-organismes* : CNRS-GEPEA, CNRS-CEA-IBB, INRA-BIMLip, INRA-Micalis, INSA INRA-CNRS-LISBP, INRIA
- *Développement des nouvelles techniques d'exploitation, collecte, conditionnement des ressources biomasse* : CEA, FCBA, GIE Arvalis/Onidol, INRA, IRSTEA, Pôle IAR
- *Développement de procédés de production de biocarburants aéronautiques* : CEA, IFPEN
- *Qualité des carburants et adéquation avions/carburant* : CERFACS, IFPEN, ONERA
- *Développement de méthodes d'évaluation des filières (durabilité)* : CEA, CIRAD, FCBA, GIE Arvalis/Onidol, IFPEN, INERIS, INRA, ONERA

¹ https://www.allianceenergie.fr/position-PAPER_besoins-de-l-aviation/

² Ces solutions sont également abordées dans le rapport.

³ IATA : International Air Transport Association

⁴ OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale, organisation des Nations Unies qui participe à l'élaboration des normes permettant la standardisation du transport aéronautique international

⁵ ATAG : Air Transport Action Group

⁶ Carburants de structure chimique analogue aux carburants fossiles facilitant leur incorporation à haute teneur

⁷ CORSIA : Carbon Offsetting & Reduction Scheme for International Aviation


⁸ ENR : Energies Nouvelles Renouvelables

De nombreuses technologies de biocarburants aéronautiques avec des niveaux de maturité différents

Les technologies ici considérées sont celles qui produisent des carburants liquides dont les molécules hydrocarbonées sont de structures chimiques proches de celles présentes dans le carburéacteur fossile (*drop-in*). Sont exclues de l'analyse détaillée, les carburants non issus de la biomasse (CTL, GTL, PTL⁹...), ainsi que les carburants de nature éloignée du kérosène liquide actuel (électricité, H₂, CH₄) qui nécessitent d'importantes adaptations des aéronefs et des infrastructures aéroportuaires. Ces dernières solutions sont toutefois abordées dans le rapport afin d'identifier leurs principaux verrous.

Panel de technologies biocarburants pour l'aviation d'aujourd'hui à 2040+ : Les technologies de production de la ressource biomasse et de conversion de cette biomasse en biokérosène ont des maturités, des atouts et limites différents et sont distinguées dans le rapport d'étude. La garantie de sûreté et de compatibilité d'usage des carburants est assurée par la certification ASTM (American Society for Testing and Materials). A ce jour, **6 technologies de production de biocarburants aéronautiques sont d'ores et déjà certifiées ASTM** pour un usage en mélange avec le kérosène fossile (tableau suivant).

Les technologies biocarburants aéronautiques certifiées ASTM en juin 2018. Source : ANCRE

Technologies certifiées	Ressources biomasses	Taux de mélange certifié	Maturité technologique	Principaux acteurs impliqués sur l'ensemble de la chaîne (dont industriels et acteurs R&D français)
 HEFA (1) Hydrotraitement d'huiles	Huiles végétales, huiles usagées, graisses animales, huiles microbiennes	50 % vol.	TRL9 : Technologie mature dont usine Total en cours d'ouverture à la Mède (France)	Axens, Total, IFPEN Neste (Finlande, Pays-Bas, Singapour), UOP-ENI (Italie, USA)
HEFA (1-bis) Hydrotraitement d'huiles	Idem HEFA (1) en coprocessing avec des résidus du raffinage	5 % vol.	TRL9 : Technologie mature	Idem HEFA (1)
FT-SPK (2) Gazéification & Fischer-Tropsch	Biomasse lignocellulosique	50 % vol.	TRL8 : Fin du programme R&D BioTfuel en France en 2019	Bionext (BioTfuel), IFPEN, CEA, AVRIL BELT (Canada), Fulcrum (USA), RedRock (USA), Velocys (USA)
FT-SPK (2-bis) + aromatiques	Biomasse lignocellulosique	50 % vol.	Démontré sur ressources fossiles TRL7 à partir de biomasse	Idem FT-SPK (2)
SIP (3) Farnesane par voie biologique	Sucres issus de plantes sucrières, Sucres lignocellulosiques	10 % vol.	TRL9 : Technologie mature à partir de canne à sucre au Brésil, TRL4 : R&D sur voie lignocellulosique	Amyris (Brésil) en partenariat avec Total et Airbus pour l'importation
ATJ (4) iso-butanol ou éthanol	Sucres issus de plantes sucrières, Sucres lignocellulosiques	50 % vol.	Technologie mature pour la production d'alcool, TRL7 sur la chaîne complète, TRL4 à démontrer sur biomasse lignocellulosique	GEVO, Lanzatech, Byogy (USA) Ethanol lignocellulosique : Proctethol2G (Futuro), INRA, IFPEN, ARD, Lesaffre , Biochemtex (Italie), Clariant, Poet-DSM (USA), Praj (Inde)

(1) Hydrotreated Esters And Fatty Acids ; (2) Fischer-Tropsch - Synthetic Paraffinic Kerosene ; (3) Synthesized Iso-Paraffins ; (4) Alcohol To Jet.

D'autres technologies sont en cours de certification :

- Une technologie mature dérivée des HEFA, le « Greendiesel » correspondant à un carburant de grade gazole issu de la technologie HVO¹⁰ pour véhicule diesel, adapté à l'utilisation dans un moteur d'avion et incorporé à plus faible teneur, de l'ordre de 5 % vol. (même caractéristiques et acteurs que les HEFA, cf. tableau) ;
- Deux technologies disposant d'unités pilotes impliquant des acteurs français : l'**isobutène-to-Jet** impliquant Global Bioenergies et Cristal Union, puis à un stade moins avancé, les voies productrices de **biohuiles** lignocellulosiques **HDCJ/HPO**¹¹ faisant l'objet d'un rapport CVT ANCRE 2017¹² ;
- Autres technologies¹³ disposant d'unités pilotes essentiellement aux USA : CHJ, CPK/HDO¹³.

Des acteurs de la recherche française sont également impliqués dans des voies de production plus prospectives (*post* 2030) à TRL3 impliquant la culture de micro-organismes (micro-algues, bactéries, levures) directement producteurs d'alcènes ou alcènes, de compositions proches du kérosène.

La question clef de la ressource biomasse

L'origine de la ressource, sa durabilité au sens environnemental, mais également socio-économique (substitution d'usages et donc d'activités) sont au cœur du déploiement des bioénergies. Cette question a été prise en compte dans la caractérisation des filières biokérosènes qui, dans un contexte français, prioriseront l'usage de ressources issues de l'économie circulaire ou minimisant les concurrences d'usages. La France dispose de nombreuses ressources, certaines déjà bien valorisées comme les huiles végétales, cultures sucrières et amidonnières, sur lesquelles les concurrences d'usages sont en débat. Les filières biokérosènes pourraient en premier lieu s'orienter vers des

⁹ CTL : Coal-to-Liquid issu de charbon ; GTL : Gas-to-Liquid issu de gaz ;

PTL : Power-to-Liquid issu d'électricité

¹⁰ HVO : Hydrotraited Vegetable Oil

¹¹ HDCJ : Hydrotreated Depolymerized Cellulosic Jet; HPO : Hydrogenated Pyrolysis Oil

¹² <https://www.allianceenergie.fr/cvt/etudes/etudes-publiees/etat-lieux-perspectives-de-production-usages-bio-huiles-nouveau-rapport-cvt-ancre/>

¹³ CHJ : Catalytic Hydrothermolysis Jet issu de ressources lipidiques; CPK : Cyclo-Paraffinic Kerosene ; HDO : Hydro-DeOxygenated Synthetized Kerosene issu de ressources sucres

ressources issues du recyclage (huiles usagées, graisses animales et issues des réseaux d'assainissement, et autres résidus de l'industrie agro-alimentaire), puis vers des ressources lignocellulosiques (issues de l'exploitation agricole et forestière, déchets organiques issus des ordures ménagères et de la restauration, déchets non recyclables issus de la collecte des papiers et de cartons). Cela demandera une structuration territoriale importante et un besoin d'articulation entre les usages, compte tenu de la forte orientation envisagée actuellement, même à horizon 2050, vers les valorisations chaleur/gaz/électricité. A plus long terme, il sera envisageable de faire appel à des ressources nécessitant encore des travaux d'expérimentation comme les cultures énergétiques, CIVE¹⁴, cultures sur sols pollués, et cultures de micro-algues et autres micro-organismes.

Des besoins en R&D

Les filières de production de biokérosène : Seules les voies HEFA sont actuellement disponibles industriellement et seraient en mesure à court terme de produire autour de 100 kilotonnes de biokérosène durable en France dans un contexte incitatif.

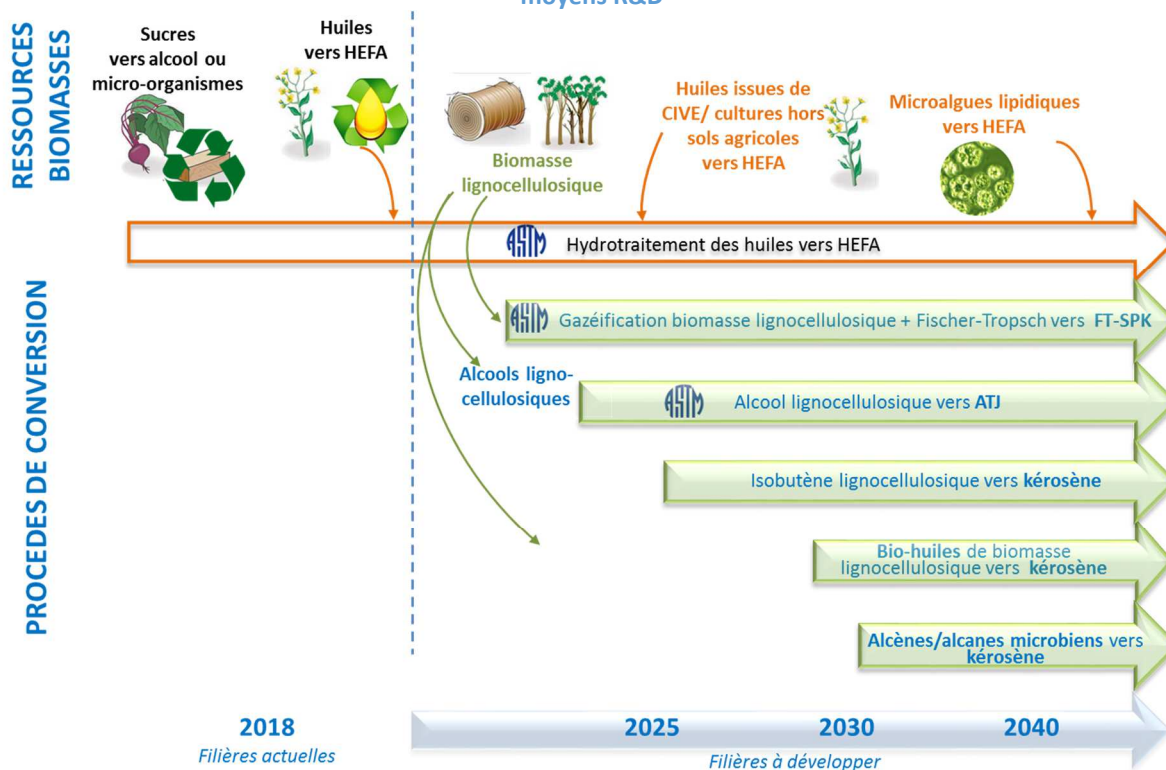
Si la plupart des briques technologiques des autres voies ont été démontrées à l'échelle laboratoire voire démonstrateur, l'objectif premier des travaux de recherche des voies certifiées et en cours de certification ASTM réside dans la **réduction des coûts des procédés de conversion et l'amélioration de l'accès à des ressources biomasses durables** avec notamment :

- L'accès facilité aux ressources lignocellulosiques (collecte, conditionnement, stockage...) pour les voies FT, ATJ et autres voies plus prospectives ;
- Le développement de nouvelles ressources lipidiques *via* des cultures sur sols non alloués à l'alimentaire (CIVE, sols pollués, lipides microbiens, ...) pour les voies HEFA.

Les acteurs français sont déjà positionnés sur des voies plus prospectives : productions de bio-huiles et d'alcènes microbiens, qui nécessiteront des moyens en support du développement d'installations visant la démonstration des chaînes complètes de production à des échelles proches des capacités industrielles.

La vision de l'ANCRE (figure ci-dessous) permet de séquencer les technologies qui peuvent être portées par les acteurs français.

Vision ANCRE des filières biocarburants aéronautiques disposant de forces françaises et justifiant le déploiement de moyens R&D



La distribution et les usages des biokérosènes : De nombreux travaux relatifs à la **compréhension des impacts carburant sur les aéronefs et l'optimisation du couple carburant/aéronef** sont actuellement en cours du côté des organismes de recherche et industriels concernés. L'ONERA, IFPEN, CERFACS en partenariat avec Safran, Dassault, Airbus... participent à des projets de recherche nationaux et internationaux qui nécessiteront d'être pérennisés.

La dynamique de la recherche et les évaluations transverses : Un autre exercice de l'ANCRE sur les bioénergies et la chimie biosourcée met en évidence que plus de la moitié des thèmes de recherche sont considérés comme un enjeu de recherche fondamentale, ce qui montre le **besoin de temps long** pour résoudre un certain nombre de questions levées par la valorisation de la biomasse dont celle de **l'évaluation de la durabilité à différentes échelles** (compétition d'usages, déstockage de carbone des sols, raréfactions des ressources en eau, pertes de biodiversité, etc.).

¹⁴ CIVE : Cultures Intermédiaires à Vocation Énergétique

Les moyens à mettre en œuvre en France pour favoriser l'atteinte des objectifs

Le déploiement industriel des filières biocarburants par une politique nationale et européenne consolidée sur une durée longue, qui conforte les investissements pour atteindre la maturité technologique et économique, est une condition générale largement partagée. Elle se complète par les modalités suivantes :

- Favoriser l'accès aux ressources biomasses durables au secteur aéronautique *via* une démarche de priorisation de l'usage énergétique des ressources (carburant, chaleur, gaz, électricité) sur la base de nouveaux critères tels que l'existence ou non d'alternatives technologiques pour la décarbonation à moyen-terme. Ceci demande de prendre en compte les évolutions du transport et des solutions alternatives aux carburants actuels en fonction des contraintes et des flexibilités de chaque secteur : terrestre, aérien, maritime.
- Développer de nouveaux partenariats multi-acteurs dont les partenariats publics/privés :
 - Entre les différents acteurs au sein d'une même discipline scientifique : plateforme de recherche dans un cadre de type Programme National de Recherche avec les appels à projet idoines permettant les allers-retours démonstrateur-recherche sur des durées longues pour réussir le transfert de l'innovation académique vers la production industrielle, regroupant les acteurs de la conversion thermochimique (connaissances analytiques sur les étapes de conversion, sur la sécurité au stockage et sur les procédés) et des centres d'excellence en biotechnologies industrielles consacrés aux filières micro-organismes.
 - Entre les différents acteurs des maillons de la chaîne de production/commercialisation/usage des biokérosènes : exemple d'une plateforme nationale miroir de ce qui peut exister au niveau européen (Forum AE, Biofuel flightpath, Art Fuel Forum, ...).
- Appuyer l'interdisciplinarité pour réduire la segmentation des travaux par grandes voies de transformation.
- Développer la recherche-action permettant de mettre en place des schémas d'approvisionnement en biomasse efficaces et durables et de proposer des modalités de financement de projets industriels pouvant porter la nouvelle R&D.
- Promouvoir un centre d'échange de type « Clearinghouse »¹⁵ européenne, à l'image du système américain, permettant de faciliter les travaux de certification de nouvelles filières en présentant un guichet d'entrée unique, un réseau de laboratoires partenaires susceptibles de réaliser les essais normatifs et un soutien au financement de ces travaux.

Contacts coordinateurs ANCRE :

Daphné Lorne, IFP Energie nouvelles – daphne.lorne@ifpen.fr
Elisabeth Le Net, CEA – elisabeth.lenet@cea.fr

Le rapport complet sera disponible sur demande auprès des coordinateurs ANCRE dans le courant de l'automne 2018.

Le financement de la recherche au niveau national

- TRL < 3 : Agence Nationale de la Recherche.
- TRL 3 à 7 : ADEME (actuellement appel GRAINE) ; Banque Publique d'Investissement (PSPC et FUI), Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC).
- TRL 6 à 9 : Programme d'Investissements d'Avenir ; dans le PIA3 : plusieurs programmes liés aux « Démonstrateurs et territoires d'innovation de grande ambition » ; le concours d'innovation aux *start-up* et PME.

Bilan des Appels à Projets

- ANR : projets ciblés biojetfuels : Lipicaéro (2008), Probio3 (2012) - PIA ; plusieurs projets micro-algues pour l'énergie avec un volet biojetfuels.
- ADEME : très peu de projets dédiés biokérosène, mais des projets biocarburants du Fonds démonstrateurs avec un volet biokérosène dans les cibles (BioTFuel, Isoprod).
- DGAC : trois projets soutenus mais pas exclusivement biocarburants.

Au niveau européen (H2020)

- Jusqu'en 2017, 9 appels à projets dédiés aux biocarburants, avec un appel plus ciblé biocarburants aéronautiques : 4 projets consacrés aux applications aéronautiques (sur 39 sélectionnés) ;
- 2018 : 2 appels à projets sur les biocarburants aéronautiques (clos au printemps) ; 2 nouveaux appels à projets planifiés sur 2019.



Créée en 2009, l'Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Energie rassemble 19 organismes de recherche et innovation et confère d'établissements d'enseignement supérieur dans le domaine de l'énergie.

Ses missions, exercées en liaison avec les pôles de compétitivité et les agences de financement, sont de :

- Renforcer les synergies et partenariats entre organismes de recherche, universités et entreprises concernés par le secteur de l'énergie
- Identifier les verrous scientifiques et techniques qui limitent les développements industriels
- Proposer des programmes de recherche et innovation, et les modalités de leur mise en œuvre
- Contribuer à l'élaboration de la stratégie nationale de recherche en matière d'énergie ainsi qu'à la programmation des agences de financement dans ce domaine

<https://www.allianceenergie.fr>

¹⁵Centre établi par la FAA (Federal Aviation Administration américaine), *via* son centre d'excellence ASCENT (Aviation Sustainability CENTER). Un programme financé par la FAA permet de conduire des projets de recherche sur les kérosènes alternatifs et leur impact environnemental

sur l'aviation. Le projet « Clearinghouse Concept » est conduit par l'URDI (University of Dayton Research Institute) aux USA. L'objectif et les travaux de ce Centre font intégralement partie du processus de certification ASTM.