Rédigé le 03 avril 2025

5 minutes de lecture

Regards économiques

Enjeux et prospective

Biocarburants et e-fuels

E-CARBURANTS : ENJEUX ET OPPORTUNITÉS

Focus n°5

Production carburants de synthèse : les technologies de rupture

Si le besoin en carburants de synthèse impose de développer les premières filières de production de e-carburants dès 2030, en utilisant le CO_2, l'hydrogène et l'électricité bas-carbone [voir focus n°3], des voies de production en rupture font également l'objet de nombreux efforts de recherche. Ces

voies n'ayant pas toutes recours à l'énergie électrique, le terme de « carburants de synthèse » est plus adapté que celui de « e-carburants », qui ne définit qu'une partie des premiers. Ces voies innovantes visent à adresser plusieurs enjeux pour **maximiser le rendement énergétique de la chaîne de production des carburants de synthèse et abaisser leurs coûts**, par exemple :

- convertir le CO_2 directement en utilisant l'énergie solaire et l'électricité bas-carbone ;
- convertir sélectivement le CO_2 vers des molécules complexes comme les hydrocarbures, les alcools (méthanol, éthanol, …) et les alcènes (éthylène, propylène, …) ;
- contracter les chaînes de valeur dans des dispositifs intégrés.

Pour relever ces défis, des approches physico-chimiques, biologiques ou encore hybrides sont explorées dans les laboratoires de recherche. Les technologies de rupture résultantes sont aujourd'hui à des niveaux de maturité faibles, avec des TRL inférieurs ou égaux à 4 pour les plus avancées.

La **conversion directe du CO_2** nécessite de développer l'électrolyse du CO2 en utilisant directement l'électricité pour le transformer en molécules d'intérêt. Combinés à un procédé de captage, **les procédés électrocatalytiques** de conversion directe du CO_2 donnent accès à différents produits, avec en premier lieu la production de monoxyde de carbone (CO), de gaz de synthèse (CO+H2) et d'acide formique (HCOOH), utiles comme intermédiaires dans les secteurs de la chimie et des carburants. Une autre stratégie ambitionne de **produire des carburants de synthèse à partir du flux solaire, de CO_2 et d'eau**. En utilisant des organismes photosynthétiques, il est en effet possible de produire des huiles et autres (bio)molécules, par exemple grâce à l'étude, l'ingénierie et la culture d'organismes comme les micro-algues ou les cyanobactéries. Ces approches biologiques inspirent également l'élaboration de **dispositifs photo(électro)catalytiques**, capables de mimer les mécanismes de la **photosynthèse** de façon **artificielle** pour produire des « **carburants solaires** » à travers des approches physico-chimiques. Enfin, encore plus amont, l'activation du CO_2 par des rayons ionisants et des plasmas est également à l'étude.

La transformation du CO_2 nécessite l'emploi de catalyseurs, c'est-à-dire de molécules et de matériaux capables de convertir le CO_2 en présence d'un flux solaire, d'électricité ou d'hydrogène. L'élaboration de **nouveaux catalyseurs, plus robustes, efficaces, sélectifs et recyclables**, représente un enjeu pour améliorer les performances des procédés de production des carburants de synthèse. Il est aussi nécessaire de mettre au point des catalyseurs capables de favoriser la formation de liaisons C-H et C-C à partir du CO_2 et d'hydrogène pour **produire des molécules plus énergétiques et plus complexes**, comme le méthanol, l'éthylène, les hydrocarbures et les composés aromatiques. En parallèle, les **voies biologiques** visent la production de différents sucres, lipides ou hydrocarbures grâce au développement et à l'utilisation de nouvelles lignées d'organismes photosynthétiques ou bactériens (méthanogènes, levures oléagineuses, etc.).

Ces ruptures scientifiques et techniques conduisent au développement de **dispositifs intégrés** qui préfigurent des briques technologiques innovantes, grâce auxquelles le CO_2 est converti en carburants et molécules utiles sur **des chaînes de valeur fortement raccourcies, directement à partir de lumière ou d'électricité**. Pour relever le pari de cette intégration, la R&D sur les approches biologiques et physico-chimiques et leur hybridation est nécessaire. Ces efforts permettront de mettre sur le marché des technologies de conversion optimisées, pour faire émerger une **deuxième génération de filière de production de carburants de synthèse, à l'horizon 2040-2050**.

Les différentes approches dites en rupture font l'objet de **R&D au CEA et à IFPEN**, notamment dans le cadre **des PEPR SPLEEN**, sur la décarbonation de l'industrie, **B BEST**, sur les biotechnologies et bioproduits, et **LUMA**, sur l'interaction lumière-matière, ou encore au niveau européen dans le cadre de l**'initiative SUNERGY** (Solar fuels and chemicals).

Télécharger la fiche pdf (80 Ko)

LES BRÈVES

ACV: Analyse du Cycle de Vie
ADEME : Agence de la transition écologique (www.ademe.fr)
AIE : Agence Internationale de l'Energie (www.iea.org)
ANCRE : Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Energie
CCS : Carbon Capture and Storage (Captage et Stockage du Carbone ou CSC)
CDR : Carbon Dioxide Removal (Absorption du CO_2 atmosphérique)
CCU : Carbon Capture and Utilization (Captage et Valorisation du Carbone ou CVC)
COP : Conference of the Parties (Conférence des Parties ou CP)
DAC : Direct Air Capture
DME : DiMethyl Ether
EHT : Electrolyse Haute Température
FuelEU : Loi européenne visant à décarboner le secteur maritime (Fit for 55)
GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (Intergovernmental Panel on Climate Change or IPCC) (www.ipcc.ch)
ICAO : International Civil Aviation Organization (www.icao.int)
ICM : Industrial Carbon Management
ICR : Industrial Carbon Removal
MACF : Mécanisme d'Ajustement Carbone aux Frontières (Carbon Border Adjustment Mechanism ou CBAM)
Mtep : Mégatonne d'équivalent pétrole
NZE : Net Zero Emission by 2050 (scénario AIE)
PEM : Proton Exchange Membrane
PEPR : Programmes et Equipements Prioritaires de Recherche
Power-to-X : Approche consistant à transformer de l'électricité en un vecteur chimique de type e-carburant ou e-molécule
RED : Renewable Energy Directive (Directive Energie Renouvelable)
ReFuelEU : Loi européenne visant à décarboner le secteur aérien (Fit for 55)
R&D : Recherche & Développement
R&I : Recherche & Innovation
RWGS : Reverse Water Gas Shift reaction (Réaction du gaz à l'eau inverse)
SAF : Sustainable Aviation Fuels (Carburants d'Aviation Durables ou CAD)
SEQE-UE : Système d'Echange de Quotas d'Emissions de l'UE (EU Emissions Trading System ou EU-ETS)
SGPE : Secrétariat Général à la Planification Ecologique
SMF : Sustainable Maritime Fuels (Carburants Maritimes Durables ou CMD)
TIRUERT : Taxe Incitative Relative à l'Utilisation d'Energie Renouvelable dans le Transport
TRL : Technology Readiness Level (Niveau de maturité technologique)
UE : Union Européenne

VOUS SEREZ AUSSI INTÉRESSÉ PAR

Enjeux et prospective

Regards économiques

janvier 2025

Focus n°1 : E-carburants, e-molécules : pourquoi accélérer et déployer les filières dès maintenant ?

Focus CEA/IFPEN

Enjeux et prospective

Regards économiques

janvier 2025

Focus n°2 : La place des e-carburants dans les scénarios de transition énergétique

Focus CEA/IFPEN

Enjeux et prospective

Regards économiques janvier 2025

Focus n°3 : vers une première filière de production de e-carburants

Focus CEA/IFPEN

Biocarburants et e-fuels

E-carburants : enjeux et opportunités - Glossaire

VOUS SEREZ AUSSI INTÉRESSÉ PAR

Focus n°1 : E-carburants, e-molécules : pourquoi accélérer et déployer les filières dès maintenant ?
Focus n°2 : La place des e-carburants dans les scénarios de transition énergétique
Focus n°3 : vers une première filière de production de e-carburants
Focus n°4 : Les besoins en ressources pour la production de e-kerosène en 2035 et 2050
Focus n°5 : Production carburants de synthèse : les technologies de rupture
03 avril 2025

Lien vers la page web :