

Pour une filière des carburants synthétiques pour l'aviation civile et militaire

Jean-Loup Bertaux, 6 février 2021

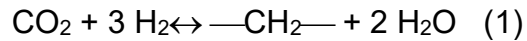
Charbon, pétrole, gaz naturel : ces trois combustibles fossiles contiennent des atomes de carbone, qui vont faire chacun une molécule de CO₂ en brûlant. La moitié du CO₂ relâché est absorbé par des puits naturels (forêts, sols, océans), et l'autre moitié s'accumule dans l'atmosphère, provoquant ainsi par son effet de serre le réchauffement climatique. La teneur en CO₂ était de 280 ppmv avant l'époque industrielle, elle est maintenant de 413 ppmv en 2020 (+47%). On **sait** qu'au rythme actuel de notre extraction des fossiles, le réchauffement climatique atteindra +4° en 2100 et +8° en 2200 (+10° en France, les continents chauffent plus que la moyenne). On sait donc que, pour limiter le réchauffement, il faudra **arrêter** d'extraire les fossiles, et, si on ne le fait pas assez rapidement, on sera **obligé** d'enlever du CO₂ de l'atmosphère pour rattraper le retard. Actuellement, la Terre est en déséquilibre thermique ; elle accumule presque 1 watt/m², comme l'atteste l'augmentation de température des océans dans leur épaisseur. Littéralement, on cuit !

Il faut arrêter au plus vite cette cuisson, et la transition énergétique consiste donc à trouver des alternatives aux combustibles fossiles, défossilées¹ le plus possible, pour permettre de vivre aussi confortablement que possible : un français moyen utilise environ 3 kW en permanence. On envisage l'hydrogène vert (produit par électrolyse de l'eau) et la voiture électrique, alimentée par de l'électricité décarbonée (nucléaire, hydraulique, éoliennes, photo-voltaïques PV). On finance les recherches sur l'avion à hydrogène. Néanmoins, nous n'avons à ce jour **aucune** certitude qu'un tel avion H₂ aura des capacités d'emport auxquelles nous nous sommes accoutumés avec le kérosène. C'est pourquoi, si l'on veut que l'aviation civile et militaire perdure, il est vital de mettre en place, en parallèle des recherches sur l'avion à hydrogène, la production massive de carburants synthétiques, semblables ou identiques à ceux que nous utilisons, mais complètement carbone-neutre. Il « suffit » pour cela de prendre les atomes de C dans le CO₂ atmosphérique plutôt que sous le sol, et de fabriquer des carburants synthétiques liquides semblables au kérosène.

Nous décrivons ci-dessous une esquisse quantitative d'un tel projet pour la France, pour fixer les idées sur les ordres de grandeur, avec une solution technique de référence, la « baseline ». On estime (Jean-Marc Jancovici) qu'un m² de panneau solaire permet de produire 10 litres par an de carburant synthétique. Pour remplacer nos importations de pétrole brut et de gaz naturel (au total 100 millions de tonnes équivalent pétrole TEP par an), il faut une surface de 10.000 km², soit la surface d'un seul département français (Les Landes, 9.243 km²). Un hectare de PV peut ainsi produire 100 TEP par an, c'est 25 fois plus qu'un hectare de betteraves pour faire du bio-éthanol qui en produit 4 tonnes par an. Il faudrait environ 700 km² pour produire notre consommation de carburants.

¹ On utilise ici le néologisme *défossilé* pour indiquer l'absence de fossiles, plutôt que *décarboné* car le carburant synthétique est évidemment plein de carbone.

La technologie de référence ici choisie ²consiste à fabriquer de l'hydrogène vert par l'électrolyse de l'eau, et à capter le CO₂ atmosphérique. Ensuite, dans des usines dédiées (des raffineries reconverties ?), et avec des catalyseurs adéquats peu coûteux (à base de Fer, Manganèse, Potassium) on produit des hydrocarbures liquides C₈ à C₁₈, selon le schéma suivant (Yao et al., 2020) :



où —CH₂— représente un chaînon d'un hydrocarbure liquide.

Reconnaissons l'immense avantage d'un carburant liquide à température ambiante : stockage, distribution, réseau existant. De plus, cela permet l'utilisation des moteurs thermiques et des avions à réaction, aboutissement de 100 ans d'améliorations technologiques. Et, si par miracle on arrivait à faire voler économiquement des avions à hydrogène, serait-il vraiment écologique de mettre d'un coup tous nos avions et nos voitures thermiques à la casse ? Fabriquer de nouveaux véhicules est très coûteux en CO₂ produit (fabriquer une voiture électrique coûte en CO₂ émis l'équivalent de l'émission d'un véhicule thermique roulant 100.000 km).

On voit mal d'autre part nos tanks, nos Rafales, nos transports de troupes, nos bateaux de guerre fonctionner à l'hydrogène : pour sa résilience, notre défense nationale a besoin de capacités de productions de carburant synthétique sur le sol national. Si l'argent est le nerf de la guerre, le carburant liquide en est le sang.

L'installation de filières de carburants synthétiques est un acte de souveraineté, permettant notre indépendance nationale, indispensable au moins pour nos armées. En réduisant nos importations de carburants fossiles, cela soulage notre balance commerciale ; et en même temps nous réduisons notre production de CO₂ comme la France s'y est déjà engagée.

Techniquement, c'est un moyen souple de stocker de l'énergie en surplus (exemple, en été les panneaux solaires donnent à plein, alors que la consommation d'électricité est réduite).

Dans le prix d'un billet d'avion, le coût du carburéacteur ne représente que 10%. Donc, si le prix de revient du carburéacteur synthétique est 2 fois plus élevé que le kérosène dérivé des fossiles, cela représente une augmentation très modeste de 10% seulement du prix du billet. Si le synthétique est 11 fois supérieur au kérosène actuel (limite supérieure qu'on n'atteindra presque sûrement pas), cela représente une augmentation d'un facteur 2 du prix du billet. Beaucoup de voyages d'affaires seront encore « rentables » ; le tourisme deviendra plus cher, mais pas inabordable. Cela donne une mesure des efforts et sacrifices que chacun de nous devra consentir

² Il n'est nullement prouvé que cela soit la meilleure. Il s'agit simplement d'une filière de référence à laquelle on peut comparer les autres.

pour abandonner totalement le recours aux fossiles, qui sont un véritable poison pour le climat, donc pour tout le monde et en particulier nos descendants.

Pour convaincre l'Etat de l'intérêt de la filière de carburant synthétique, il faudra sans doute surmonter des oppositions fondées sur de mauvaises raisons qu'il faudra contrer, par exemple :

- La filière du carburant synthétique ôte du crédit à la filière de l'avion à hydrogène, qui vient juste d'être financée par le gouvernement.
- On pourrait étendre aux véhicules thermiques, ce qui est mauvais pour le développement des véhicules électriques.
- Les pétroliers ne veulent pas un concurrent à leurs fossiles.

En parallèle des actions/recommandations auprès de l'Etat, il est souhaitable de sensibiliser à ces filières de carburant synthétiques un certain nombre d'utilisateurs : armées, compagnies aériennes, gérants d'aéroports, motoristes, raffineurs et chimistes, etc..., par le biais de canaux appropriés. Ces acteurs importants pourraient servir de relais auprès de l'opinion et du monde politique.

Notons enfin que le développement de la production d'hydrogène vert (décarboné) est déjà acté par le gouvernement, et qu'il est plus que vraisemblable qu'on sera un jour obligé de pomper massivement le CO₂ atmosphérique pour l'enterrer et réduire son effet de serre. On sait déjà le faire (procédé Climeworks en Suisse, ou Carbon Engineering au Canada).

En conclusion, des travaux sont à mener pour aboutir à une position en faveur de l'implantation de filières de carburants synthétiques, en demandant à l'Etat d'inciter et soutenir une activité débouchant sur les démonstrateurs de taille moyenne, en mobilisant pour cela la R&D des institutions françaises appropriées. Il s'agirait d'installer des usines-pilotes de fabrication du kérosène³ synthétique, de taille modeste mais suffisante pour estimer son véritable coût industriel.

Référence :

Yao et al., Transforming carbon dioxide into jet fuel using an organic combustion-synthesized Fe-Mn-K catalyst. Nature Communications, en ligne le 22 décembre 2020, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20214-z>

³ Dans ce document nous utilisons indifféremment les mots : kérosène, carburateurs, jet fuel, pour désigner des carburants pour avion, qu'ils soient synthétiques ou non.

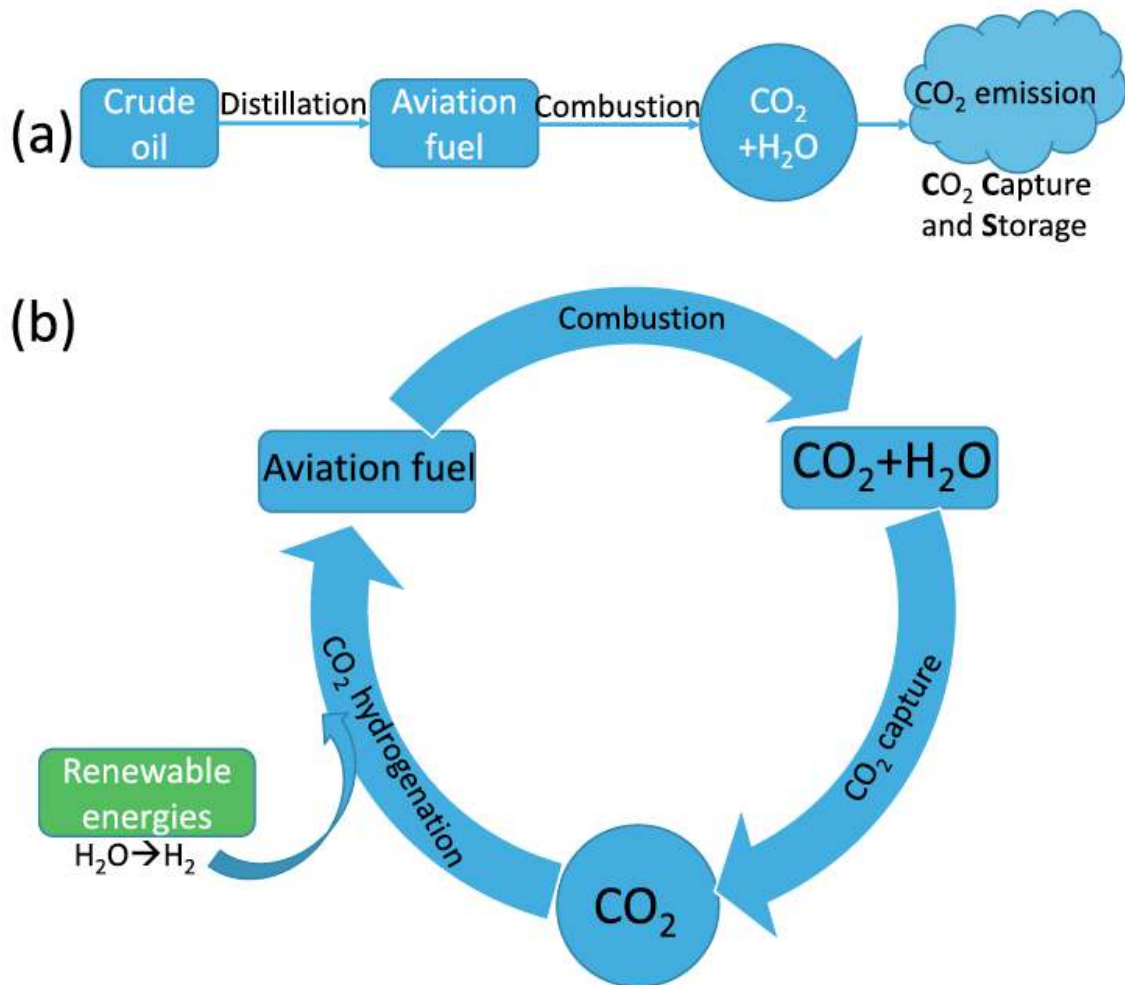


Figure 1. Ce schéma (extrait de Yao et al. 2020) illustre la différence entre :

- a) Notre économie linéaire actuelle, où, pour faire voler des avions, on extrait du carbone fossile qui termine sous forme de CO₂ dans l'atmosphère au détriment du climat.
- b) Une économie circulaire dans laquelle le CO₂ est pompé dans l'atmosphère (avec de l'énergie décarbonée), puis réagit dans des usines dédiées avec H₂ produit par électrolyse aussi avec de l'énergie décarbonée.

Annexe : quelques alternatives au schéma de référence (baseline).

Nous mentionnons ci-dessous quelques alternatives au schéma baseline, selon une liste absolument non-exhaustive.

Le schéma baseline comporte trois éléments :

1. la captation du CO₂ atmosphérique avec de l'électricité décarbonée (nucléaire, hydraulique, PV, éoliennes).
2. la production d'hydrogène vert H₂ par électrolyse de l'eau avec de l'électricité décarbonée.
3. la combinaison chimique (avec catalyseurs) de H₂ et CO₂ pour produire directement des hydrocarbures liquides, fuels pour avion (en gros, kérosène).

1. Une alternative complète : Production bactérienne d'éthanol et transformation en « jet fuel ».

On part de déchets de procédés industriels contenant du CO₂ et autres gaz ; on utilise des colonies bactériennes pour produire de l'éthanol (alcool éthylique) par fermentation, puis production de kérosène et diesel, produits pétroliers...

Exemple : projet LanzaTech, usine en construction pour produire 30.000 tonnes par an de jet fuel (en français, carburéacteur). .

En 2019, la France a produit 7,1 millions de tonnes de carburéacteurs (kérosène, jet fuel, d'autres noms pour le même produit), environ 10% des produits pétroliers produits en France (72 millions de tonnes).

Source : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2119673>

Deux conclusions :

1. Un ensemble de 237 usines comme ce projet « suffit » à couvrir les besoins français en production de jet fuel.
2. Le passage industriel de l'éthanol au jet fuel est à un haut niveau de TRL (Technology Readyness Level). Donc, tout procédé défossilé permettant de produire de l'éthanol permet la production de jet fuel défossilé.

2. Alternatives à la captation du CO₂ atmosphérique.

On peut capter le CO₂ produit au cours d'un processus industriel au lieu de le capter dans l'atmosphère. Exemple : un four à ciment d'un nouveau type (Carmeuse) permet de récupérer le CO₂, de faire réagir avec du H₂ produit par électrolyse, et de fabriquer du méthane à injecter directement dans le réseau de distribution, ou servir de base pour la production de carburants synthétiques (projet Carmeuse et John Cockerill et l'énergéticien Engie en Belgique)

<https://www.lecho.be/entreprises/energie/carmeuse-engie-et-john-cockerill-s-allient-pour-la-capture-de-co2/10271109.html>

3. Alternatives à la production directe avec H₂+CO₂.

On peut utiliser, entre H₂ et CO₂, la réaction exothermique de Sabatier, pour fabriquer du méthane : CH₄, qui peut être injecté directement dans le circuit de gaz naturel, ou transformé en méthanol puis éthanol pour fabriquer des carburéacteurs selon un procédé similaire à celui utilisé après la fabrication d'éthanol à par fermentation bactérienne. Ou en utilisant la voie MTG, Methanol to Gasoline (fig.2).

4. Electrolyse de l'eau chargée en CO₂.

Exemple de la start up Prometheus de McGinnis en Californie. On fait de l'éthanol par électrolyse de l'eau chargée en CO₂ ; ensuite, on sépare l'éthanol de l'eau avec des nanotubes de carbone. McGinnis est si optimiste qu'il promet de vendre son carburant synthétique à la pompe à un prix concurrentiel, d'ici un ou deux ans...

peut-on le croire ? Il est vrai qu'un carburant pour automobiles contenant 85% d'éthanol est déjà distribué en France, le E85. Voici le lien à copier pour McGinnis :

<https://www.prometheusfuels.com/>

5. Production d'éthylène par photo-synthèse artificielle.

Il s'agit de produire de l'éthylène de façon renouvelable, à des fins de chimie des matières plastiques (220 millions de tonnes en 2020), avec des catalyseurs. Bien que non orientés sur les carburants synthétiques, nous mentionnons ici les travaux de Marc Fontecave, professeur au Collège de France, car il semble y avoir beaucoup de points communs avec les filières pour bio-carburants synthétiques.

On peut consulter avec intérêt sa conférence à l'ENS sur les énergies renouvelables.

<https://www.youtube.com/watch?v=oBd4ojQGnWg>

6. Conclusion des alternatives.

En conclusion, il existe une myriade de schémas alternatifs. C'est d'ailleurs un obstacle actuel à leur développement : les industriels ne se lancent pas dans la direction des carburants synthétiques parce qu'ils ont peur de miser sur une filière qui ne se révélera pas la plus rentable au final. C'est pourquoi il serait utile que l'Etat assume le risque économique de développer plusieurs filières avec des usines pilotes, de petite taille dans un premier temps, de taille moyenne dans un deuxième temps. Naturellement, en maître d'oeuvre faisant appel aux industriels compétents, et en surveillant de près le développement. Il semble indispensable de bâtir un argumentaire en faveur du déploiement de la filière du carburant synthétique en France et en Europe.

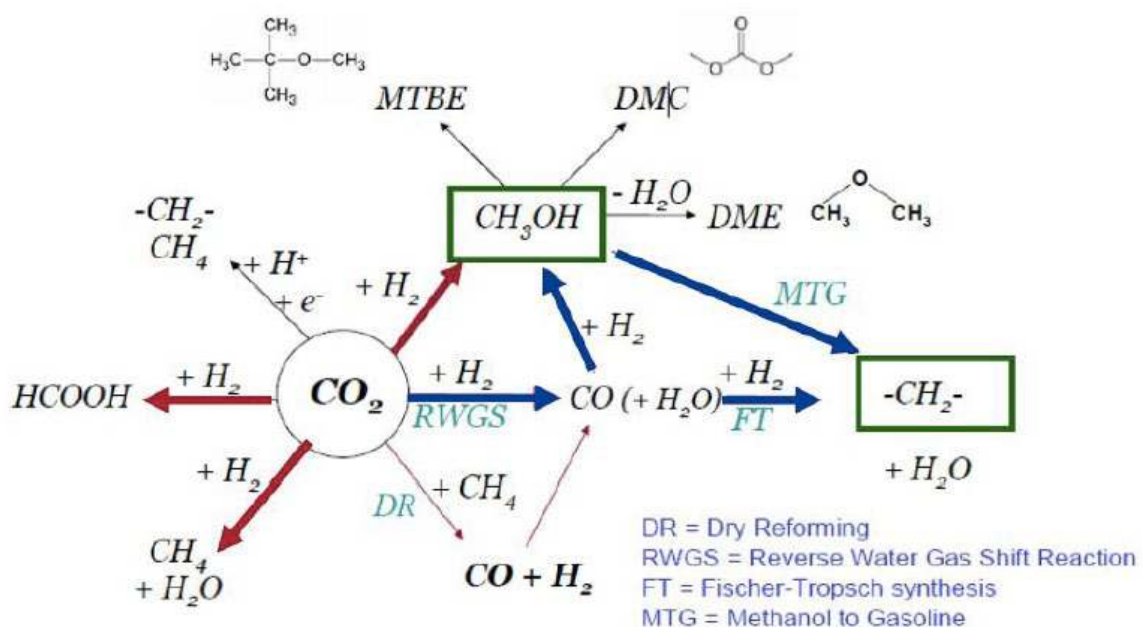


Figure 2 : Différentes voies de l'hydrogénation du CO₂. Les flèches rouges représentent des processus en une étape, et les flèches bleues en 2 étapes. CH₃OH

est le méthanol, le symbole --CH₂—représente un hydrocarbure liquide (extrait d'un document décrivant un TP pour classe terminale) :

tp17_valorisation_co2_electrolyse_hydrogenation.pdf