

# La chimie donne des ailes

Jean Botti est Directeur Général Délégué Technologie et Innovation (CTO) d'EADS<sup>1</sup>.

Quelle est la place de la chimie dans les défis que doit relever aujourd'hui l'industrie aéronautique, dans ce qui est applicable à court terme et dans ce dont nous aurons besoin pour le futur immédiat ? Comment l'industrie chimique peut-elle nous aider à avoir des ailes ? Quels sont les points clés à résoudre ?

Notre défi le plus grand est de fabriquer les batteries et les piles à combustible du futur pour l'aéronautique. Les solutions actuelles, utilisées pour l'automobile ou les transports routiers en général, ne sont pas applicables dans l'aéronautique : Newton nous rappelle sans cesse que la gravité existe et qu'il n'y a pas uniquement un problème de résistance au roulement. Ce problème fondamental de poids est le désavantage des transports aériens, c'est la mauvaise nouvelle ! La bonne nouvelle est que l'industrie aé-

ronautique peut se permettre d'appliquer des technologies plus avancées dont le surcoût peut s'intégrer plus facilement dans « un prix au passager », qui est plus facilement acceptable que l'hypercompétitivité qui existe aujourd'hui dans l'industrie automobile.

Les objectifs de réduction des émissions sont extrêmement importants, et comme le montre également le **Chapitre de H. Van Damme**, compte tenu du développement du trafic, c'est dans les transports aériens que les émissions croissent le plus : + 76 %. Le mandat de la commission européenne, qui vise à une réduction de 50 % des émissions, a donc ouvert la voie à une coopération inter-industrie pour atteindre cet objectif. L'industrie chimique pourra et devra soutenir l'industrie aéronautique et spatiale en développant des solutions maîtrisées pour le transport de

1. [www.eads.com/eads/](http://www.eads.com/eads/)

l'énergie, en développant des carburants alternatifs et pour appliquer la réglementation européenne REACH<sup>2</sup>.

Il faut donc construire de plus en plus d'avions mais il faut que les voyageurs puissent voler avec des conditions environnementales acceptables au niveau des produits comme au niveau des processus.

## 1 Les domaines d'applications de la chimie dans l'aéronautique

### La technologie et le développement des batteries

Nous avons besoin de batteries plus puissantes et de sécurité optimale : la capacité et les taux de décharge doivent être plus élevés. La chimie de ces batteries doit être adaptée aux capacités opérationnelles pour une production électrique garantissant un degré maximum de sécurité, à tout moment.

À l'heure actuelle, les batteries au lithium sont privilégiées dans le monde entier, mais nous devons penser à plus long terme.

Chaque producteur de batteries a sa « recette secrète »

2. REACH (enRegistrement, Évaluation, Autorisation et restrictions des substances CHimiques) est une réglementation européenne entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> juin 2007, rendant obligatoire pour les industriels d'évaluer, de gérer les risques posés par les produits chimiques, et de fournir des informations de sécurité adéquates à leurs utilisateurs. Son objectif est d'améliorer la protection de la santé humaine et de l'environnement, tout en maintenant la compétitivité et en renforçant l'esprit d'innovation de l'industrie chimique européenne.

pour assurer une capacité et une sécurité plus grandes, mais aucun ne partage cette information. Pour atteindre les objectifs des constructeurs d'avions, les fournisseurs sont contraints de fournir de meilleures solutions, d'améliorer des batteries en utilisant des matériaux avancés : nanopoudres<sup>3</sup>, encres avancées...

Le développement du vol électrique progresse, mais son succès dépendra de la maturité des solutions de stockage de l'énergie. Aucun avionneur n'est à l'abri de problèmes, c'est donc un effort commun qui doit être développé, pour une chimie adaptée, une capacité opérationnelle et un degré maximum de sécurité à tout moment.

Sachant qu'un Airbus A380 embarque souvent huit cents personnes à bord – donc une très grande envergure –, cela donne une idée des difficultés à résoudre pour transposer les technologies des batteries lithium-ion ou lithium-polymères (plus sûres) à cette échelle de management de l'énergie.

## 2 Les pistes de coopération entre les industries chimiques et aéronautiques pour porter à maturité les objectifs

### 2.1. Les batteries lithium-air : une solution prometteuse pour le stockage de l'énergie électrique

La densité énergétique des batteries lithium-air est supérieure à celle des batteries lithium-ion car leur cathode

3. Les nanopoudres sont des poudres dont les dimensions sont à l'échelle du nanomètre ( $= 10^{-9}$  m).

est plus légère, et l'oxygène est présent dans l'environnement. Les batteries lithium-ion actuellement utilisées fournissent environ 140 à 150 kW/h/kg ; on espère doubler avec une batterie lithium-air, qui est un système beaucoup plus sûr (**Encart : « Les batteries lithium-air »**).

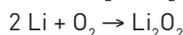
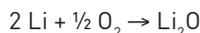
En cours de développement, les batteries lithium-air ne sont pas encore disponibles sur le marché. Les chercheurs estiment que ces systèmes seront commercialisables à partir de 2030.

Ce sont donc encore les batteries lithium-ion qui sont partout utilisées dans nos produits (**Figure 1**). Notre filiale de défense Cassidian les utilise pour les téléphones sécurisés, dans des secteurs tels que celui de la police ou de l'armée. Nous utilisons énormément de batteries dans les drones, et l'A350 était censé aussi démarrer avec une batterie au lithium-ion, mais nous sommes revenus au nickel-cadmium après les problèmes de Boeing, et bien que la technologie soit très différente.

**La technologie des batteries est donc cruciale pour notre vision de l'avion du futur qui pourrait être totalement électrique ou hybride**

### LES BATTERIES LITHIUM-AIR

Une batterie lithium-air est un système ouvert qui utilise l'air pour fonctionner. Elle en récupère l'oxygène, qui réagit avec le lithium pour générer de l'électricité, selon les réactions :



L'avantage d'un tel procédé est d'utiliser un composant qui n'est pas stocké dans la batterie, ce qui permet de l'alléger et de réduire son encombrement. La batterie lithium-air offre une capacité de stockage plus importante que celle du lithium-ion. Cela est dû au fait que l'oxygène reste disponible et inépuisable sans être stocké dans l'accumulateur, ainsi qu'aux forts potentiels redox du lithium et de l'oxygène.

(**Figure 2**), avec des batteries qui seront plutôt de type lithium-air, des fils supraconducteurs et un moteur électrique à l'arrière de plusieurs mégawatts.

Le premier vrai avion électrique a été présenté au salon du Bourget en juin 2013. C'est un avion de voltige à deux places qui servira aussi à l'entraînement des pilotes. Il est vraiment conçu pour servir de base de développement de d'avion électrique du futur. Dans cet avion, les supraconducteurs sont refroidis à l'azote liquide, les batteries sont lithium-air, et cet avion a été entièrement repensé, même

**Figure 1**

Les utilisations des batteries lithium-ion : PMR de Cassidian (A), drone Tracker de Cassidian (B) et Airbus A350 (C).

Source : EADS

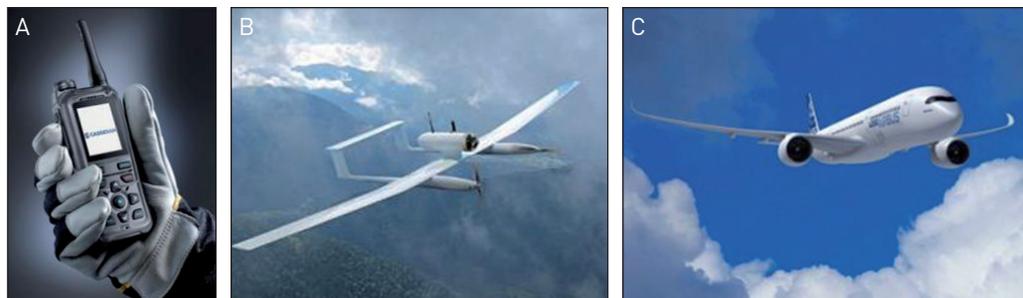


Figure 2

Vision de l'avion électrique (ou hybride) du futur.

Source : EADS



dans son aérodynamisme. On remarquera sur la **Figure 2** qu'il n'y a plus de moteur sous les ailes pour avoir un flux extrêmement laminaire.

Actuellement, nous n'envisageons pas de vol transatlantique pour l'avion électrique (ou hybride selon la distance), qui est prévu pour 90 à 100 passagers sur des vols d'1h30-2h. Sa réalisation n'est programmée que pour les années 2030 à 2035, mais nous y travaillons déjà.

## 2.2. Le développement des carburants alternatifs

### 2.2.1. Des contraintes importantes

Le second objectif est le développement des carburants alternatifs pour l'aviation tels que les biocarburants, et les défis à résoudre sont encore nombreux. Il faut qu'ils soient publiquement acceptables, c'est-à-dire que leur développement n'entraîne aucune discussion autour de la guerre alimentaire, de la déforestation, des ressources en eau, de la dégradation des sols ou du déplacement forcé de populations.

Pour être adaptables à l'aéronautique, ces carburants alternatifs devront être produits en quantité suffisante pour couvrir la demande et être disponibles sous différents climats dans toutes les régions du monde.

Ils devront aussi être conformes aux caractéristiques des carburants d'aviation, et leur utilisation ne devra pas nécessiter une adaptation des infrastructures telle que le changement des turbines ou des moteurs. Ils devront pouvoir être mélangés avec du carburant conventionnel, et ce, quelle que soit la proportion.

Enfin, leur impact environnemental global devra être acceptable : de l'analyse du cycle en matière d'émissions (y compris NO<sub>x</sub> et soufre) aux autres aspects environnementaux (utilisation efficace des sols, logistique comprise). N'importe quel biocarburant ne peut donc pas être adapté à l'aviation.

Cependant, **l'empreinte CO<sub>2</sub> de l'aviation est actuellement modeste**. Il est en effet important de savoir que l'aviation aujourd'hui ne

contribue que pour 2 % au CO<sub>2</sub> émis par l'ensemble des moyens de transports, et que 80 % de ces émissions sont imputables à des vols qui vont au-delà de 1 500 km. Donc, les solutions à rechercher ne portent aujourd'hui que sur la partie fluides et les kérosènes. Pour les courtes distances, on commence à y réfléchir et des solutions existent. Pour les longues distances, il va falloir vivre avec les carburants fossiles encore un long moment.

### 2.2.2. Les objectifs environnementaux de l'aviation

Prenant en compte le développement des transports aériens, et en vue de développer la recherche dans ce domaine, l'industrie aéronautique française s'est cependant fixé l'objectif d'utiliser en 2020, deux millions de tonnes de biocarburants dans nos avions, ce qui est peu comparé à la consommation annuelle d'une compagnie comme Air France ou Lufthansa qui est d'environ 25 millions de tonnes.

Les objectifs pour 2050 sont de diminuer de 75 % les émissions de CO<sub>2</sub>, de 90 % celles d'oxydes d'azote NOx, et de 65 % les émissions sonores par rapport à celles de l'an 2000.

Quand on prend en compte l'accroissement prévisible du nombre d'avions, c'est un engagement colossal. Les objectifs pour 2020 sont déjà très importants : -50 % sur le CO<sub>2</sub>, -50 % sur le bruit, -80 % sur les NOx par rapport à l'année de référence de 2005. Ces objectifs sont extrêmement difficiles à tenir mais nous y travaillons beaucoup.

### 2.2.3. Les biocarburants de 3<sup>e</sup> génération issus des déchets et des macroalgues

Le processus de développement des carburants alternatifs doit donc être amélioré. Les carburants alternatifs issus des algues sont une possibilité à fort potentiel comme on le voit sur la **Figure 3**, où les biocarburants sont classés en familles selon leurs origines, et où leurs intérêts potentiels peuvent être comparés selon le coût de production (ordonnées) et l'empreinte CO<sub>2</sub> (abscisse).

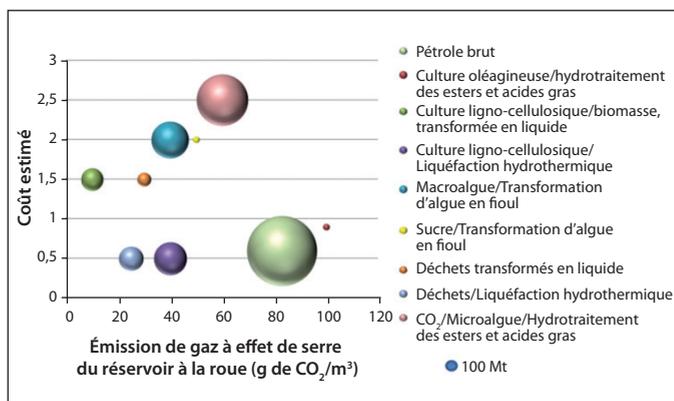
Le pétrole brut est représenté par la grosse bulle verte, et l'on peut voir que les macroalgues (bulle bleue) sont intéressantes du point de vue des émissions de CO<sub>2</sub>, bien qu'encore trop coûteuses à produire.

EADS n'est pas fabricant de biocarburant, mais ses objectifs d'être une industrie verte conduisent à soutenir les recherches dans ce domaine qui peut être intéressant, en partenariat avec des groupes comme Air France et Lufthansa.

En effet, en comparant les surfaces nécessaires à la production de la biomasse

**Figure 3**

Alternatives aux carburants.



qui sert de matière première, si l'on voulait produire aujourd'hui des biocarburants à partir de la graine de colza par exemple, on aurait besoin de tout l'État de la Bavière ! Avec du jatropha, il faudrait l'État de Basse-Saxe. Mais si l'on envisage un mélange à 30 % issu d'algues avec du kérosène, cela n'occuperait en surface de culture que celle d'une ville comme Berlin ou Brème ; et si l'on passe à 70 %, ce n'est que la surface de la ville d'Ham-bourg. Au contraire, si l'on voulait produire du biocarbu-rant avec du maïs, c'est l'Alle-magne, l'Autriche et la Suisse tous ensemble qu'il faudrait prendre en tant que terrain d'exploitation.

C'est pourquoi une industrie comme EADS, qui n'est pas la plus grosse consom-matrice – et de loin – de carbu-rants, s'intéresse aux algues. Les besoins annuels de carbu-rants pour Air France ou Lufthansa sont d'environ 25 millions de tonnes, c'est un bon niveau pour tester les biocarburants.

Nous nous sommes fournis en Chine pour tester ces biocarbu-rants car nous n'avons pas pu en fabriquer en quantité suf-fisante en France ou ailleurs en Europe. J'ai moi-même fait voler le 1<sup>er</sup> avion avec du carburant issu des algues dès 2009 ; j'avais réussi à récupé-rer 600 litres d'huile que nous avons utilisés sur un tout petit avion que nous étions allés chercher en Amérique du Sud. Nous avons actuellement un plan de recherche très poussé en collaboration avec Total pour que les produc-teurs français de carburants puissent être compétitifs face

à des pays comme la Chine. Ce pays va d'ailleurs être le seul à pouvoir nous fournir le car-burant nécessaire à la fin de l'année 2013, pour faire voler un A320 avec du biocarburant produit à partir d'algues.

### 2.3. Les conséquences de l'application de REACH

L'Agence européenne des pro-duits chimiques (ECHA) a identi-fié des substances chimiques extrêmement préoccupantes (SVHC) et dressé une liste d'autorisations (annexe XIV). Des dates d'expiration ont été définies pour les SVHC. Passé cette date, l'utilisation de ces substances est soumise à autorisation de l'ECHA et liée à un considérable effort admi-nistratif et financier.

Toutes les unités opération-nelles d'EADS utilisent des SVHC dans leurs processus et produits, et cette initia-tive purement européenne nous conduit donc à bannir certains composants jugés chimiquement préoccupants. Le problème est que cette réglementation n'étant pas mondiale, elle n'est pas impo-sée aux fabricants étrangers, ce qui entraîne de graves prob-lèmes de compétitivité.

La chimie européenne a donc de gros efforts à fournir pour nous aider, car nous utilisons de nombreux de produits pré-occupants comme le plomb, le chrome, le cadmium... aussi bien dans nos avions civils que dans nos avions de combat et dans nos missiles, et même dans nos satellites. Et cela d'autant plus que les cycles de vie de ces produits sont longs, de trente ans, et même parfois plus.



**Figure 4**

Chaîne de galvanisation Airbus.

Source : EADS

Nous avons donc besoin de la chimie pour trouver les produits et matériaux de remplacement à un coût acceptable pour conserver notre compétitivité.

Un plan d'action incluant toutes les entités opérationnelles d'EADS a été établi afin d'éliminer le chrome et le cadmium, « EADS Cr&Cd free » : pour galvaniser<sup>4</sup> nos

tôles, nous avons mis au point une anodisation sulfatartrique permettant de s'affranchir des problèmes de chrome et de cadmium qui a été développée chez Airbus, Eurocopter et pour la défense (**Figure 4**). Mais ce n'est qu'un exemple et il reste encore beaucoup de problèmes de ce type à résoudre.

## La chimie et le développement de l'aéronautique

La chimie joue un rôle extrêmement important dans le cycle de développement et dans les produits chez EADS, et dans l'aéronautique en général. La politique de l'Union Européenne en matière d'émission doit renforcer cette collaboration inter-industries pour que l'on puisse trouver ensemble des solutions adaptées et réduire les émissions dans le futur. Seuls

4. La galvanisation consiste à recouvrir une pièce d'une couche de zinc dans le but de la protéger contre la corrosion.

quelques exemples ont été montrés, il en reste beaucoup d'autres très importants, notamment les piles à combustible qui sont un défi, à résoudre le plus rapidement possible, avant 2050.

L'avion de transport électrique devrait exister avant 2030, et la chimie nous ouvre la voie pour trouver les solutions et les technologies, qui point par point nous permettront d'y arriver (**Figure 5**).

**Figure 5**

*Chimie, transports et futur.*

Source : EADS

