

## **Une vision du transport aérien à long terme : un grand défi.**

### **Résumé.**

Le Transport Aérien est un outil de mobilité parmi d'autres. Tout déplacement d'un artefact ne peut être totalement « décarboné ». Le déplacement dans la troisième dimension offre beaucoup d'avantages mais exige une source concentrée d'énergie. L'abandon du paradigme de la vitesse permettra de mettre en œuvre toutes les ressources de la technologie. Une rupture sociétale dans la demande de mobilité, associée à une coopération réelle entre les modes de déplacement, serait la voie majeure pour réduire l'impact global, à l'échelle planétaire, de cette mobilité tout en assurant les services attendus par l'humanité (Réf. Objectifs de Développement Durable de l'ONU). La place du transport aérien s'en déduira, et ne peut être arrêtée arbitrairement à ce jour. L'aérien doit retrouver face à un nouveau défi un esprit pionnier digne de ses héros.

### **Contexte des moyens de transport.**

Le maritime supporte les chargements les plus pondéreux ou encombrants, évolue sur un milieu complexe, est évidemment soumis à une forte rupture de charge au contact de la terre ferme dans des infrastructures adaptées, qui souffriront de la montée des eaux.

Sur terre deux moyens coexistent en compétition, le rail et la route ; au prix d'infrastructures d'implantation continue pouvant devenir complexes des charges importantes sont possibles ; le rail conserve l'apanage du pondéreux massif, notamment en prolongement du maritime. Le rail bénéficie d'un coefficient de frottement faible mais avec une faible adhérence ; les deux modes peuvent s'arrêter en tout lieu, et se ravitailler « en route ». Pour limiter la pente et les courbes le rail exige des tunnels pouvant devenir considérables. La route est beaucoup moins sûre, plus sensible à la météo, mais ose pénétrer des territoires très ardu ; le coefficient de frottement est élevé, et l'adhérence dépend de la nature du sol.

L'aérien évolue dans la troisième dimension et peut donc adopter le plus court trajet, dans un milieu peu visqueux, mais peu dense ce qui limite la charge tout en autorisant la vitesse bien au-delà d'un minimum exigé. Le passage en troisième dimension efface la géographie (étendues marines, montagnes) ; la vitesse efface les distances. En revanche les charges très pondéreuses sont inaccessibles aux formules usuelles, mais il existe quelques machines de très grande taille.

Tous les modes se sont développés grâce à la disponibilité d'un carburant à (plus ou moins) forte densité énergétique : charbon, pétrole. Ces ressources d'origine fossile sont en voie de disparition. A ce jour seul le rail exploite déjà, grâce à la rigidité et linéarité des installations un autre vecteur, l'électricité qui peut provenir d'une autre source (hydraulique, atomique/nucléaire), et pour les mêmes raisons commence à utiliser l'hydrogène.

### **Le paradigme acquis de la mobilité.**

De l'époque des premiers steamers et des locomotives à vapeur à notre époque la population mondiale est passée de 1 à 8 milliards, avec une perspective de 9 à 10 vers 2050/2060. Cette expansion est étroitement liée au développement des moyens de mobilité terrestres et maritimes, l'aérien n'étant qu'un phénomène (relativement) récent. Les progrès techniques, la maîtrise de l'électromagnétique et de la physique particulière, n'y sont pas pour rien. La liaison est à double sens, la population ne peut survivre sans la fourniture de produits pondéreux, son expansion (main d'œuvre, richesse) permet une intensité économique qui donne les moyens d'accroître les ressources, alimentant l'expansion.

L'accommodement d'une telle quantité d'humains sur une surface habitable finalement assez restreinte a produit un modèle de vie marqué par une forte mobilité des personnes. Il ne semble pas possible d'envisager de remplacer rapidement ce modèle par un autre à définir.

Néanmoins on peut imaginer que, sous l'influence des contraintes énergétique (raréfaction) et climatique (limitation de l'index de température), la mobilité des personnes se restreindra, alors que pour la plupart des pondéreux l'optimum restera la concentration des productions et des acheminements. Les modes de mobilité s'adapteront en se restructurant.

#### **Défis et innovations.**

Quel que soit le mode employé tout déplacement met en œuvre des artefacts (infrastructures, véhicules, gestion), et de ce fait mobilise de l'énergie pour leur réalisation et leur fonctionnement ; inévitablement, par la nature même des ressources et le rôle fondamental du carbone, ce déplacement produit des GES, essentiellement du dioxyde de carbone, mais aussi du méthane.

Les discours contemporains, qu'ils soient en faveur d'une croissance ou d'une restriction du secteur, raisonnent de manière quasi « homothétique » sur le modèle industriel, en particulier les formules architecturales et énergétiques des appareils ne changent guère, non plus que les métriques de jauge de l'activité. La conception d'un modèle beaucoup plus diversifié, pour optimiser l'adaptation aux missions dans leur forme future, relève d'un effort de recherche et de formation, puis d'investissements, qui ne semble pas avoir été à ce jour bien identifié et entamé.

Face aux « défis » il faut « innover », quitte à provoquer des « ruptures ». L'innovation n'est pas l'invention de nouvelles technologies mais un usage nouveau de technologies existantes selon des schémas diversifiant ces technologies de façon parfois inattendue. Or les technologies nécessaires à la grande variété des formules évoquées sont déjà disponibles avec un TRL raisonnable. Certaines ne sont prometteuses de ruptures qu'à long terme, le présent exposé n'est pas le lieu d'une analyse détaillée de la question.

De son côté, l'innovation sociétale concerne le changement de hiérarchie des besoins et envies, leur satisfaction par des moyens respectant d'autres mérites, par exemple aller moins loin, moins vite mais plus durablement. C'est dans cette évolution des aspirations que résident les véritables ruptures. Cet aspect bien que fondamental est plutôt négligé dans les études, rapports et autres plans, qui prennent à partie le transport aérien.

Dans tous les cas il nous semble que l'aéronautique doit se débarrasser du paradigme de la vitesse de vol, lequel a sans doute fait son succès mais est bien trop coûteux en énergie même en bénéficiant des avantages mentionnés de la troisième dimension aérienne, les lois de la physique s'imposent. Seule une « vitesse » porte à porte doit être confrontée à l'utilité sociétale du déplacement.

#### **Vision prospective.**

Un tableau du transport aérien à l'horizon post-2050 pourrait alors être :

- Demande sur les liaisons à grande distance réduite aux besoins contraints, économiques, techniques, humains (réduction progressive par l'évolution des paradigmes), réduction drastique de la vitesse sur ces liaisons (objectif de division par 2 de la consommation).
- Développement de solutions aériennes débarrassées du paradigme de la vitesse pour les liaisons non contraintes, les voyages de développement humain,

- Adaptation de la taille d’une variété d’appareils pour réduire au strict nécessaire le nombre de mouvements (fréquences), disjonction fret/passagers, adaptation réciproque des aéronefs et du contrôle des vols,
- Intensification des liaisons court voire très court courrier entre stations non ou mal reliées en surface, avec des appareils adaptés (ADAC/STOL, atterrissage tout temps autonome, vitesse modérée),
- Développement de liaisons à courte distance dans les zones de géographie complexe (montagnes et vallées, archipels, forêts, déserts) interdisant les infrastructures terrestres « propres » ; ces liaisons seraient assurées par des appareils de faible taille, utilisant largement une énergie peu carbonée adaptée aux ressources locales (essentiellement électricité directe en batteries ou indirecte en hydrogène),
- Multiplication des très gros porteurs de fret pour desservir les zones inaccessibles en pratique au ferroviaire, avec des formules hybrides de plus légers que l’air,
- De façon générale conception simplifiant la conduite, et assurant une très forte fiabilité avec une faible maintenance : modularité, électrification, multirotores, automatisation avancée (IA), interconnexion, autonomie,
- Nouvelles architectures d’aéronefs permises par les nouveaux paramètres de conception (taille, vitesse, routes, climat) et la technique (puissance électrique, automatisation),
- Nécessaire persistance de carburants obtenus en intégrant un prix significativement élevé, les « SAF » (lire Surrogate Air Fuels) remplaçant progressivement les fossiles épuisés,
- Mise en cohérence des infrastructures et organisations opérationnelles (aéroports, circulation aérienne, logistique) pour minimiser les externalités induites.

**Le système devra être conçu et géré en coopération entre les divers modes (surface et air) et la solution jugée sur le bilan complet, énergétique et climatique global à l’échelle planétaire, en intégrant les aspects humains au-delà du matériel, c’est-à-dire le service rendu dans toutes ses composantes. Il faut que l’humanité sache allouer à ses déplacements une quantité admissible de GES justifiée par le service rendu dans la satisfaction de besoins mesurés à une hauteur équitablement répartie entre les humains.**

Cette conception globale systémique pourrait conduire à la quantification d’objectifs sous la forme de spécifications portant sur les métriques de l’activité et de l’impact environnemental et climatique, comme sur la qualité du service rendu dans la variété des territoires de la planète, et la cohérence avec les autres systèmes. Pour chacun des critères serait fixé un niveau objectif à atteindre par étapes. Le volume de l’activité (le « trafic ») qui en sera le résultat et non un paramètre directeur ne peut être quantifié dès aujourd’hui.

Les objectifs traduiront en particulier la capacité de l’aéronautique à s’inscrire dans un système « humanité sur terre » durable, en se souvenant des objectifs de l’ONU :

- satisfaisant une demande raisonnée de mobilité, induite par des besoins intimement liés à la qualité de vie des humains, émotionnelle autant que sanitaire ou matérielle ;
- consommant des ressources non renouvelées à un rythme compatible avec l’accession et la mise en œuvre de substitutions ;
- préparant par conséquent cette substitution au profit des générations futures par un effort conséquent de recherche et développement pesant sur les consommations ;

- en l'absence de substitut imaginable à l'atmosphère et au climat global, réduisant le plus possible les rejets de toutes sortes qui les détériorent inévitablement.

### **Le vrai défi.**

Les problèmes climatique et énergétique sont planétaires. L'Humanité sur Terre est un système de systèmes complexes tels que Peuplement, Habitat, Alimentation, Mobilité, avec de fortes interactions entre eux. Isoler l'un des systèmes, et a fortiori un sous-système comme le Transport Aérien, est une erreur conceptuelle malheureusement courante. L'optimum global n'est pas obtenu en optimisant chaque sous-système indépendamment. Seul un plan global d'organisation de la Mobilité planétaire, cohérent avec les autres systèmes, peut espérer obtenir une réduction globale de ses atteintes au climat. C'est dans la façon de « faire société » à l'échelle de la planète que peut se trouver la solution ; l'Aéronautique y a sa place, forte de ses compétences techniques et organisationnelles. Mais elle doit la réclamer et la justifier dans ce cadre global de façon proactive au lieu de simplement se défendre, voire de se culpabiliser, et doit se montrer comme modèle et meneur à la tête des évolutions nécessaires dans tous les composants du système de Mobilité de l'Humanité.

Quelle instance sera en mesure de formuler le programme correspondant, allant bien au-delà des améliorations techniques couramment évoquées et porteur d'accomplissement pour la jeunesse ?

Jean-Claude Ripoll, Décembre 2021.