

# OMNES

## "Réglementation aérienne : évolutions et perspectives"

**9 décembre 2008**

Projet de transport aérien entièrement automatisé (M. Claude Le Tallec) .....	1
Les deux impasses de la sécurité des vols (M. Jean-Michel Bidot).....	6

**M. CADOREL.-** J'ai rencontré M. **Le Tallec** à bord d'un de nos vols alors qu'il se rendait à une réunion à Seattle. Il m'a parlé de son domaine de recherche, les drones, et de fil en aiguille, je lui ai finalement demandé d'intervenir lors de ce séminaire. Je connaissais l'existence des drones militaires mais je ne savais pas qu'il y avait des drones civils vraiment performants qui seraient même susceptibles de mettre certaines catégories de personnels au chômage ! C'est ce côté polémique que nous allons aborder tout à l'heure. J'ai été vraiment emballé par notre rencontre et je voulais vous faire partager mon enthousiasme. Je laisse maintenant la parole à M. **Le Tallec**.

## PROJET DE TRANSPORT AERIEN ENTIEREMENT AUTOMATISE

**Claude LE TALLEC**

Chercheur à l'ONERA

Instructeur pilote d'avion léger, instructeur planeur

Coordinateur du projet européen IFATS de transport aérien entièrement automatisé

**M. LE TALLEC.-** J'ai choisi cette image pour attirer votre attention, apparemment, j'ai presque réussi. L'image "voyagez sans pilote" est provocatrice ; c'est un peu à dessein.

Aujourd'hui, le transport aérien est illustré par les images que vous avez à gauche de la figure. Vous connaissez tous le contrôle aérien en route, le contrôle aérien d'aéroport, le cockpit et le PNC. Je n'ai pas trouvé de jolie image donc j'ai mis une image de bande dessinée pour le PNC. L'image à droite, c'est "*Innovative Future Air Transport System*". Quel sera-t-il ce transport aérien de demain ? On n'en sait rien. Je vais vous décrire une démarche que nous avons utilisée pour essayer d'imaginer à quoi ressemblerait le transport aérien de 2040. L'horizon, en haut de l'image, c'est 2040. Ce n'est donc pas pour demain. Ne soyez pas effrayés, ce n'est pas votre emploi qui est menacé, si toutefois il y avait des emplois menacés.

**M. CADOREL.-** Ce seront les retraites peut-être ?

**M. LE TALLEC.-** Peut-être ! Nous avons beaucoup parlé du transport aérien depuis ce matin. Quel en est le bilan ? Il y a un impact environnemental de l'aviation de transport qui est important. C'est quelque chose de plus en plus à la mode dans les médias et qui est une préoccupation de tous et de tous les instants. On s'aperçoit que les trajectoires ne sont pas vraiment optimisées, on en parlait avec **Jean-Michel Bidot**. Par exemple, un mode de descente idéal serait, en anglais, la *continuous descent approach*. A Roissy, ce n'est pas le cas. Au sol, vous avez tous vu les longues attentes sur les taxiways. Pourquoi les avions attendent sur les taxiways, au lieu de partir de leur porte au bon moment ? C'est une question que peut se poser le passager que je suis. En vol, il y a des circuits d'attente ou alors il faut tirer des bords à droite, à gauche avant d'atteindre enfin la piste. Pendant tout ce temps-là, vous consommez du kérosène et vous créez du CO<sub>2</sub>, tout cela n'est pas très bon pour l'environnement.

On nous a parlé aussi de la saturation de l'espace aérien. Aujourd'hui, il y a des problèmes économiques qui font que le transport aérien diminue de nouveau mais on pense que sa croissance va quand même continuer. Un autre aspect des choses –on en a parlé beaucoup aujourd'hui– est la limitation de l'humain dans le traitement des vols. Tout simplement dans ses fonctions d'acteur dans le transport aérien aujourd'hui, qu'il soit pilote ou contrôleur.

D'un point de vue sécurité et sûreté, les deux mots sont très importants, il y a des défaillances techniques, des défaillances humaines, et il y a même des actes de terrorisme qui ne sont pas des

défaillances mais des actes volontaristes pour perturber le système. L'image que vous voyez est une illustration d'un transport aérien du futur qu'on pourrait imaginer si on emploie la méthode que je vais vous décrire. On a voulu réfléchir à un système de transport aérien dans lequel il n'y aurait plus de pilotes dans les avions de transport. J'ai épargné le Piper Cub et le planeur qui ont un pilote, bien sûr. Pas de contrôleur non plus : pas de jaloux. On pense, dans notre réflexion, qu'on ne pourrait pas supprimer les pilotes sans supprimer les contrôleurs ; ces deux opérateurs, contrôleurs et pilotes, sont remplacés par des opérateurs au sol. Va-t-on appeler ces opérateurs des contrôleurs ou des pilotes ? Je vais y revenir plus tard.

Bien sûr, l'espace aérien n'appartient pas seulement à l'aviation de transport, il appartient aussi à l'aviation militaire qui doit cohabiter, ce sera une partie de la fin de mon exposé avec les drones. Aujourd'hui, nous avons des difficultés à les intégrer dans l'espace aérien dont la gestion repose trop sur des communications vocales par radio. Evidemment, un drone n'a pas de pilote à bord pour réagir aux instructions du contrôle en appréciant directement la situation autour de lui.

Le projet que nous avons mené s'appelle IFATS (*Innovative Future Air Transport System*) et c'est un projet européen. Ce projet a commencé en juillet 2004 pour finir en juin 2007. Nous avons pu étudier un aspect supplémentaire grâce à une subvention de la région d'Ile-de-France : l'acceptabilité sociale d'un tel système. Effectivement, cette acceptabilité sociale est une dimension importante pour notre projet, comme pour tout ce qui a été évoqué aujourd'hui. Le consortium qui a fait ce projet est multinational européen. Là encore, on ne peut plus rien faire sans s'associer à d'autres établissements de recherche comme vous le voyez ici. Le DLR, en Allemagne, la DSNA en France et le CIRA en Italie. Il nous fallait aussi travailler avec des industriels : EADS, en France ; IAI, en Israël ; Thales en France ; Alenia en Italie, et Erdyn qui est un consultant en France. Et des universitaires, parce qu'ils ont aussi beaucoup à apporter dans ce genre de réflexion très prospective, au travers des thèses qu'ils mènent dans leurs établissements.

Quelle méthodologie avons-nous adoptée pour ce projet IFATS ?

Nous sommes partis de deux constats. Le premier, c'est qu'il est difficile d'imaginer un système sans y réfléchir de façon approfondie, c'est-à-dire ici sans avoir étudié des évolutions qui pourraient être celles du transport aérien, des solutions potentielles. Nous avons donc décidé d'étudier une solution potentielle. Il restait à savoir quelle solution potentielle on pouvait imaginer pour baser notre réflexion. On pouvait choisir entre deux méthodes, soit nous essayions de faire évoluer le transport aérien, de l'état où il est aujourd'hui vers un état qu'il était difficile de définir au travers d'une évolution progressive, mais nous n'avons pas réussi à trouver un état dans cette évolution lente qui permettait de faire une réflexion assez approfondie. Nous avons alors décidé d'étudier une solution révolutionnaire qui tirerait le meilleur parti de l'automatisme et des capacités humaines. Il ne s'agit pas de faire du tout automatique, mais de faire ce qu'il est raisonnable d'espérer en associant les niveaux d'automatisation et d'utilisation de l'humain au meilleur de ce qu'on peut en attendre. Nous avons décidé également de voir quelle était sa faisabilité aux sens technique, social et légal. En conclusion, nous avons analysé ses avantages et inconvénients afin de déterminer les évolutions que nous pouvions anticiper du système de transport aérien, le STA.

Quelles sont les notions clefs de ce système de transport aérien ? Tout d'abord, il y a une organisation de base. Vous voyez sur cette diapositive la partie haute, que vous connaissez bien, c'est le segment "air", les avions de transport, des avions cargos, des satellites de communication et de navigation, les UAV et l'aviation générale. Il y a assez peu d'UAV pour le moment dans l'espace aérien. Mais il faut se mettre en tête que ce type d'avion et de système va être de plus en plus présent dans notre espace aérien.

Côté sol, vous verrez des choses que vous connaissez bien : l'aéroport, l'avionneur, les compagnies aériennes et un nouvel acteur qui s'appelle station sol qui remplace à la fois le contrôleur et le pilote. Et il y a quelque chose que j'ai appelé ATSM, il s'agit de l'interface entre le segment sol et le segment air. ATSM signifie *Air Transport System Management*. C'est l'entité qui va gérer l'ensemble du système de transport aérien.

Une des notions fondamentales du projet, c'est les contrats 4D. Vous êtes probablement tous familiers des trajectoires 4D ; 4D, 4 dimensions pour X, Y, Z, et le temps. Qu'est-ce qu'une trajectoire 4D ? C'est une trajectoire pour laquelle l'avion sait à chaque instant l'endroit précis où il se trouve. Imaginons un système où on pourrait donner à un avion une telle trajectoire qu'il doit suivre : un contrat 4D. Dans ce contrat 4D, l'avion prend la responsabilité de suivre la trajectoire 4D qui lui a été assignée. Ainsi, le contrôle aérien dit à l'avion "voilà la trajectoire qu'il faudra que vous suiviez", très précise encore une fois ; l'avion dit "OK, je peux la suivre, si je la suis, je ne vous dis rien" et le contrôleur n'a rien à lui dire, *a priori*, puisque toutes les trajectoires 4D assignées ont été faites de façon à ne pas être conflictuelles. Si l'avion n'arrive pas à la respecter, il faut qu'il en demande une nouvelle au système. Nous allons voir cela un peu plus en détail.

Evidemment, l'avion n'est pas obligé d'être à un endroit très précis à un moment donné. Il y a ce qu'on appelle une bulle de liberté. C'est la bulle de couleur bleue sur cette figure. L'avion peut se mouvoir dans cette bulle sans avoir à renégocier son contrat. Les contrats 4D ont été faits avec une séparation entre les avions, la *safety bubble* ; c'est la même notion de séparation que celle que nous connaissons aujourd'hui. Cette bulle de sécurité a été définie de façon à ce que les trajectoires soient non conflictuelles.

On a beaucoup parlé de *free flight*. Dans ce principe, chacun fait un peu ce qu'il veut. Ce n'est pas vraiment le cas ici, puisque l'avion est obligé de négocier un contrat et de le respecter. On a aussi parlé de vols totalement contraints où le pilote n'a plus rien à dire et le contrôleur impose sa trajectoire. Ce n'est pas vraiment cela non plus, parce que la négociation du contrat se fait avec le contrôle mais aussi avec la compagnie aérienne. IFATS se situe donc entre ces deux notions, mais quand même plus du côté du vol contraint que du côté *free flight*. Pour mieux décrire le *concept IFATS*, nous allons prendre l'histoire d'un vol afin de rendre les choses plus concrètes.

Le début de l'histoire, c'est la génération des contrats 4D. Au niveau mondial, les compagnies aériennes demandent des contrats pour leurs avions. Ces contrats sont faits en fonction des capacités des aéroports et de l'espace aérien. Le système génère des trajectoires sans conflit et donc des contrats 4D, très en amont dans le temps. Lorsque le contrat 4D est prêt à être mis en œuvre au moment du vol, il est mis à jour pendant l'embarquement des passagers en vérifiant que cette mise à jour ne remet pas en question l'ensemble de l'organisation des autres contrats. A ce moment-là, un slot de départ est assigné à l'avion lorsqu'il est prêt. L'avion se rend automatiquement sur la piste et décolle sans attendre. Tout se fait à un instant bien particulier pour que l'avion n'ait pas à s'arrêter entre le moment où il quitte sa porte et le moment où il décolle sur la piste la plus proche de sa porte de départ. On peut imaginer des séquences de décollage optimisées en fonction de la taille des avions, du poids et des performances. En route, l'avion suit son contrat 4D ou en demande un autre si nécessaire. A l'arrivée, la piste est choisie de façon à ce que le roulage au sol soit minimisé.

On voit qu'il y a une organisation assez lourde à mettre en place, en premier lieu un planning dit stratégique pour générer ces contrats 4D au niveau mondial. Il ne s'agit pas en effet de générer des contrats au niveau européen et de voir des avions qui arrivent aux portes de l'Europe le matin, et ne pas savoir les traiter ! Il faut donc vraiment s'organiser au niveau mondial pour la planification stratégique et, au minimum, au niveau continental pour la planification tactique.

Pour la génération des contrats 4D, que se passe-t-il de façon plus précise ? La compagnie aérienne demande des contrats au *Air Traffic System Management* qui analyse la demande, la capacité, et optimise et calcule ces contrats 4D. Pour cela, il obtient des informations des stations sol, des informations des services de transport aérien et des capacités de l'aéroport. Une fois que les contrats 4D sont générés, ils sont envoyés à la compagnie aérienne. Les stations de contrôle sont informées de ces contrats, les aéroports aussi et les contrats sont prêts à être mis en œuvre juste avant les vols.

Comment peut-on réaliser un tel système avec des communications comme aujourd'hui, vocales ? Pas question, vous l'imaginez bien. On doit donc avoir une architecture de communications digitales en réseau. **Yves Lambert** a parlé de l'ADS-B, ce matin. Les petites bulles jaunes, au niveau local, c'est de l'ADS-B. Chaque avion communique sa position, reçoit la position de chacun et communique ses intentions. Chaque avion envoie à tous les avions environnants ses contrats 4D. Enfin, vous avez la structure en trait bleu qui est celle que j'ai montrée, de génération et de contrôle des contrats au niveau du sol.

Le réseau global est celui qui sert à la génération de contrats et au contrôle de ces contrats au niveau mondial. Le réseau local sert à la gestion des pannes sur laquelle je vais revenir.

Voilà maintenant les opérations nominales tactiques. On est passé du niveau stratégique, organisationnel pour les contrats, à un niveau de gestion temps réel, en vol. Que se passe-t-il ? La petite ellipse jaune représente celle du transparent précédent. Là, un avion demande une mise à jour d'un contrat qui est envoyée au système sol. Celui-ci donne un nouveau contrat à l'avion, tout se passe bien. Là, vous avez un avion qui est un capteur météo en quelque sorte. C'est une difficulté d'aujourd'hui qui a été mise en évidence dans l'étude que vous connaissez tous. La météo est quelque chose d'éminemment variable. Dans ce système, chaque avion est un capteur météo. C'est-à-dire qu'en permanence, le système sol est informé des vents, des orages éventuellement, de tout ce qui est intéressant d'un point de vue aéronautique en termes de météo.

Là, vous avez une nouvelle demande de mise à jour de contrats 4D, un nouveau contrat 4D, etc. Il reste à savoir comment on va gérer les pannes. Le cas à gauche de la figure, c'est le cas d'une panne connue, qui a déjà été rencontrée, et pour laquelle on a implémenté dans l'avion une stratégie de récupération. Vous avez de nouveau la boucle jaune avec les petits ronds bleus qui représentent des avions. Vous avez un avion qui est dans la bulle avec le point d'exclamation, qui a perdu la liaison bleue générale avec le segment sol. Dans ce cas, il utilise un avion de sa bulle locale comme relais pour reprendre le contact avec le sol. Vous voyez qu'il y a une sorte de *situation « fail safe »*. Si le système perd un de ces éléments, il est possible de ne pas avoir de défaillances catastrophiques, parce qu'il y a une alternative palliant la panne.

A droite, c'est un peu plus compliqué, nous sommes dans le cas où la panne n'est pas connue. Vous voyez que l'avion envoie vers l'ellipse verte en bas, vers Boeing si c'est un Boeing ou vers Airbus si c'est un Airbus, l'état de son système. L'avion dit chez Boeing, par exemple "j'ai ce problème, je ne sais pas le résoudre". Vous avez chez Boeing ou chez Airbus, une équipe d'experts qui est là, 24 heures sur 24, prête à réagir pour proposer des solutions alternatives à l'avion. Par le moyen d'outils de simulation assez puissants, Airbus ou Boeing génère une stratégie de récupération et la renvoie vers l'avion. On voit ici que finalement, ce qui a été évoqué par **Maxime Coffin**, c'est-à-dire le retour d'expérience centralisé, se fait automatiquement, puisque l'industriel constructeur de l'avion devient celui qui traite tous les problèmes de l'avion en quasi temps réel. La partie gauche, c'est automatique donc on a une certaine "autonomie" du système, et à droite, une action humaine est requise, c'est celle d'experts au sol.

Il y a quand même un cas très particulier, celui où on n'a pas le temps de faire tous ces échanges avec le sol. Il n'est donc pas possible de faire une renégociation de contrat. Dans ce cas, c'est la

fameuse boucle jaune qui est mise en action. L'avion a un problème ; il doit descendre ; il n'est pas question de demander au sol un nouveau contrat pour le faire. Il échange avec les avions environnants ses intentions, voit avec celles des autres et génère provisoirement un contrat 4D pour descendre et obtenir une situation cohérente avec son état. Dès que c'est possible il re-converse avec le sol pour obtenir un nouveau contrat. Sur la figure, vous avez en rouge la partie urgente, l'avion qui est en détresse a échangé localement pour voir ce qu'il pouvait faire, a donc décidé de faire quelque chose en informant les avions qui sont autour de lui. Il entreprend sa manœuvre et informe ensuite le système global de ce qu'il fait.

C'est donc un système qui n'est ni totalement automatique ni avec présence impérative de l'humain en temps réel mais qui reste surveillé par l'humain.

L'avion IFATS serait géré par un EFMS pour *Enhanced Flight Management System*, c'est-à-dire un FMS plus sophistiqué que celui que vous avez à bord de vos avions, puisqu'il récupère du sol les contrats 4D et évite au pilote d'avoir à re-piloter une nouvelle trajectoire, puisque la nouvelle trajectoire entre automatiquement dans le FMS et est gérée par l'avion.

Là, c'est peut-être un peu provocateur, mais pas tant que cela. A l'avant, dans l'avion IFATS, il y a des 1ères classes. S'il faut garder à bord un technicien, un pilote, un ingénieur, il serait plutôt installé au niveau des ailes. C'est une plaisanterie à moitié seulement, car nous avons demandé à Airbus quelle serait la place idéale pour quelqu'un qui aurait à gérer l'avion. Il nous a été répondu "finalement, lorsqu'on met quelqu'un à l'avant de l'avion, il faut faire passer les commandes entre le milieu et l'avant de l'avion, parce que toutes les gouvernes, les commandes, etc., sont au niveau de l'aile ou de la queue ; donc, l'endroit idéal serait sous le plancher au niveau des ailes". Ce n'est pas très gentil pour les pilotes s'il y en avait, mais on ne sait pas du tout s'il y aura ou non un pilote !

Avant de conclure sur l'intérêt de ce système, nous avons fait des simulations au DLR en Allemagne. C'étaient des vrais contrôleurs qui contrôlaient une arrivée à Francfort. Donc, aéroport de Francfort virtuel, vrais contrôleurs à gauche. Et à droite, ce sont des pseudos pilotes. C'est-à-dire que ce sont des pilotes qui sont devant un ordinateur et qui répondent par radio au contrôleur comme si c'étaient de vrais pilotes et chacun pilote plusieurs avions.

Qu'avons-nous fait et constaté ? Nous avons pris tous les horaires d'arrivée à l'aéroport de Francfort, nous les avons simulés en IFATS. On a fait des contrats 4D, en optimisant les trajectoires autant que possible et nous avons joué le scénario. Après, nous avons simulé ce même trafic qu'on a donné à gérer aux contrôleurs. On s'aperçoit que lorsqu'on a un fonctionnement qui était prévisible, la performance d'IFATS est la même en nombre d'avions traités, puisque c'est l'hypothèse de travail mais avec un temps de vol réduit de 20 % par rapport au trafic géré par les contrôleurs. En effet, pendant toute la durée de la simulation, les contrôleurs ont laissé les avions plus longtemps en l'air que ne l'a fait l'automatisme..

Si on met un orage sur l'aéroport, le système automatique réussit encore à traiter 6 à 8 % d'avions en plus. Par contre, lorsque l'on tombe sur des cas de figure non prévus, les contrôleurs battent IFATS. Evidemment, on voit bien ici la limite de l'automatisme. Si on ne prévoit pas quelque chose, l'automatisme ne sait pas faire. Mais c'est une question de temps : l'expérience permettra, au fil des années, de réduire le nombre d'occurrences d'événements non prévus.

L'avion automatique, commandé depuis le sol, est-ce une chimère ? Jean-Michel reviendra plus tard sur ce sujet. Je voudrais faire un petit aparté sur les drones. Vous savez qu'on appelait cela UAV *Unmanned Aerial Vehicle*. En français, on a appelé cela drone. Ce n'est plus le cas. L'OACI a adopté une nouvelle formulation qui est UAS. Cela veut dire *Unmanned Aircraft System*. En français, c'est un système de drones, mais en anglais c'est plus explicite, c'est un *Unmanned Aircraft*

*System. Unmanned*, ce n'est pas le système, c'est l'avion. Si nous avons un jour, un IFATS ou quelque chose d'équivalent, il ne faut pas penser qu'il n'y a plus d'hommes dans la boucle. C'est simplement que l'homme n'est plus au même endroit ; il n'est plus dans l'avion mais quelque part au sol.

Où en est-on en drone, aujourd'hui ? Vous voyez sur cette image que j'ai empruntée à Northrop Grumman, trois types de drones avec l'équivalent en avion piloté. Le Predator, c'est à peu près un Cessna 172 ; le Reaper, à peu près un Cessna 402 ; le Global Hawk, en envergure tout au moins, est à peu près équivalent au Boeing 737 mais en moins lourd. 32 000 livres pour le Global Hawk contre 184 000 pour le 737. Ce ne sont plus des jouets. Ce sont des systèmes qui sont sophistiqués au point où vous avez ce type de présentation faite par Grumman, qui montre que son Global Hawk a été conçu *fail safe*, mais pas encore conforme à une réglementation, car celle-ci n'est pas encore établie. Au moment où je vous parle, on en est à un point pour les drones qu'on pourrait comparer peut-être à un peu avant la Première Guerre mondiale pour les avions. Il n'y a toujours pas de réglementation, il n'y a pas de normes, et les groupes internationaux se penchent sur le problème pour créer ces normes qui exigeront des niveaux de sécurité pour les systèmes des drones. La discussion s'engage pour savoir s'il faut viser un taux de pannes catastrophiques de  $10^{-7}$  ou  $10^{-9}$  pour l'avion. Il est fort peu probable que les régulateurs soient gentils ; c'est-à-dire qu'ils vont être tout d'abord raisonnables. Si les systèmes de drones ne présentent pas de sécurité suffisante, ils n'auront pas le droit de voler dans les espaces aériens comme tous les autres avions. On peut donc s'attendre à ce que les systèmes de drones aient bientôt une maturité qui leur permette de voler dans les espaces aériens et qu'ils deviennent suffisamment sûrs à cet effet.

Que peut-on conclure au sujet de l'avenir du transport aérien de passagers ? Il y a le projet SESAR qui, on l'a vu, a, en gros, une vision 2020. Que se passera-t-il après 2020 ? C'est la grande question. Il y a toutefois une certitude. Si les UAS deviennent un jour plus sûrs, c'est-à-dire qu'ils ont un taux d'accidents moins élevé que les avions avec pilote à bord, on aura du mal à dire aux passagers "les automatismes on les a réservés pour transporter du fret mais pour les passagers, il vaut mieux avoir un pilote". Je ne fais pas de prospective au sens "boule de cristal" ; je ne dis pas qu'un jour cela arrivera, c'est-à-dire qu'un jour, les drones seront plus sûrs que les avions pilotés. En tout cas, si cela arrive, nous aurons du mal à continuer à faire voler des avions de transport de passagers avec des pilotes. A toi maintenant, Jean-Michel !

## LES DEUX IMPASSES DE LA SECURITE DES VOLS

**Jean-Michel BIDOT**

CDB instructeur Air France

Spécialiste FH

Membre de la COMETEC

**J. M. BIDOT.**- Je ne vais pas répondre à cette prospective de 30, 40, 70, 110 ans. Je vais juste répondre au fantasme que cela sous-tend ! Je vais vous dire que nous avons besoin, nous compagnies aériennes et nous transport aérien public, d'une statistique d'accident de  $10^{-7}$ , c'est-à-dire au moins, moins d'un accident par 10 millions d'heures de vol. Pour l'instant, sur les 20 ans qui se sont passés, on en est pour tous transports de passagers confondus, y compris les charters, à  $10^{-6}$  dans le monde ; cela veut dire un crash par million d'accidents.

Pour une compagnie comme Air France et ses filiales, qui réalise en queue bleu-blanc-rouge, 400 000 étapes par an, vous imaginez que si on reste dans cette moyenne, on a un accident tous les

deux ans et demi à peu près. C'est inadmissible ! C'est pourtant ce qu'on a vécu ! Le dernier, c'était à Pau. Là, je vous ai mis deux photos. Vous avez le Toronto où il n'y a pas eu de victime en 2005. Au-dessus, vous avez un Brit Air où le pilote est mort, c'était en 2003. Avant, il y a eu 2000, l'accident du Concorde comme vous le savez, mais avant cela, on peut y aller, il y eu Madras, Biarritz, etc..., tous les deux ans.

Cela veut dire que notre compagnie vient de vivre des périodes pas assez sûres, qui ne répondent pas à ce  $10^{-7}$ . On était plutôt dans les  $10^{-6}$ . Donc, c'est une nécessité d'améliorer constamment notre sécurité.

Dans les statistiques, vous avez les principales causes. Vous voyez tout de suite que si l'équipage avait agi différemment, alors il n'y aurait pas eu d'accident (55 %). Cela veut dire que les statistiques disent que dans 55 à 75 % des cas, le facteur humain est le gisement à explorer. C'est là, qu'il faut aller chercher la source de sécurité.

A partir de ce constat, nous avons identifié deux chimères : la première, c'est de supprimer les "causeurs" d'accident, comme on vient de le voir ; l'autre, j'en parlerai après, c'est de transformer les hommes qui conduisent les machines en... machines. Commençons par la première.

Les avions se promènent, non pas comme les trains sur une seule dimension, mais ils doivent en gérer au moins 6, si ce n'est 7. C'est-à-dire qu'il y a en haut, en bas, à droite, à gauche, avant, arrière. Cela fait 3 dimensions. M. Le Tallec a parlé du temps, donc quatre dimensions. Après il y a 3 axes : le tangage, le roulis et le lacet. Ce sont aussi des dimensions qu'il faut gérer. Cela fait 7 dimensions. Pour gérer ces 7 dimensions, les avions modernes ont imaginé des centrales inerties, des GPS, des systèmes qui sont au moins *fail safe*, mais mieux que cela *fail operating*, c'est-à-dire que même si ces systèmes tombent en panne, ils continuent à donner les informations essentielles. Ce sont l'ADIRU pour le 777 ou les IR pour le 330 ; ces dispositifs donnent des informations à tous les systèmes de l'avion, aux horizons artificiels que nous avons devant les yeux, nous les pilotes, mais aussi au FMS, au pilote automatique, partout. Donc c'est vraiment le cœur du système avion.

Ces systèmes sont certifiés, je ne sais pas ... par  $10^{-9}$ , je l'imagine. Cela ne peut pas tomber en panne ! Eh bien, j'ai deux histoires à vous raconter concernant des avions de la dernière génération. Premièrement sur un A-330 de Qantas en octobre dernier. Les IR ont des senseurs, des sondes d'incidence, des petites girouettes qui détectent comment les filets d'air arrivent autour de l'avion. Sur cet avion de Qantas, une des girouettes était en panne ou plutôt l'information qu'elle envoyait était aberrante, elle indiquait 56 degrés. Les ingénieurs concepteurs ont pensé que quand on avait des données aberrantes, on les éliminait. Il y a 3 centrales inerties sur A-330, donc celle qui était aberrante devait être éliminée. C'est vrai sauf dans certains cas. On appelle cela des cas de résonance. Donc en octobre, cet avion Qantas a pris en compte la girouette à 57 degrés ; il a fait la moyenne avec l'autre qui était à deux ou trois degrés et il a considéré que l'avion, dans son entier, était à 26 degrés d'incidence. C'était en vol. 26 degrés d'incidence, est considéré comme inadmissible par les concepteurs, donc le pilote automatique a piqué un grand coup envoyant un tas de gens dans les plafonds de la cabine. Il y a eu 19 blessés graves. Le pire ensuite, c'est que les pilotes ont débrayé le pilote automatique et ils ont quand même eu des coups vers le bas, parce qu'Airbus a pensé que, même en pilotage à la main, s'il y a 26 degrés d'incidence, il faut quand même agir par-dessus les pilotes. Finalement, ils s'en sont sortis, ils ont coupé les IR; ils sont revenus avec un avion basique.

Un incident identique s'est produit en 2004 sur un 777 de Malaysia Airways. Là aussi, grand bleu, tout se passe bien en altitude, et tout d'un coup la centrale, l'ADIRU certifiée, (on ne peut pas être plus certifié, c'est le cœur du système) a décidé de se recalculer en vol, et donc l'avion est parti en

flèche. Ils ont récupéré ; ils ont débrayé le pilote automatique et ils sont redescendus à terre ; il faisait beau, ils ont piloté le B777 comme un Jodel.

Ceci pour vous montrer que le Cœur des systèmes, « très » certifié, n'est pas parfaitement fiable.

Ensuite, il y a les capteurs. Une fois qu'on a parlé du cœur, on se dit : quels sont les sens du système ? Je vais vous raconter deux histoires. La première se passe sur la compagnie Air France lors d'un retour de Séoul. L'avion arrive en croisière et le chef de cabine vient dans le poste et dit : "derrière, il fait très, très chaud". Les pilotes regardent leurs écrans, il n'y a rien. "Ah bon ? Il fait chaud ? C'est à toi de régler ta température". Le chef de cabine repart et revient 5 minutes après "là, c'est inadmissible, il fait très, très chaud, les passagers de derrière se sont levés, ils ont quitté leurs sièges et sont allés vers l'avant, faites quelque chose". L'équipage technique qui était en contrôle, ne voyant toujours rien, décide d'essayer d'appeler la maintenance à Paris, mais n'arrive pas à la joindre. Encore 5 minutes se passent, le chef de cabine revient et dit "c'est terrible, le plancher se soulève, il y a des particules blanches ; c'est la panique derrière, il faut vraiment faire quelque chose". A ce moment, ils ont Oulan-Bator, un terrain verglacé (c'était en hiver) devant eux. Un petit terrain, à pleine charge, l'avion allait sans doute sortir de piste. L'équipage décide malgré tout d'atterrir sur le terrain d'Oulan-Bator après un « mayday ». Mais 20 minutes après le début des événements, un petit message apparaît "vous avez perdu le réchauffage de la soute arrière" et tout redevient normal. L'avion finalement atterrira à Pékin.

Cet avion est équipé d'un système automatique de gestion des flux d'air chaud et normalement, des senseurs voient s'il y a, ou pas, une fuite. Dans le cas présent, les senseurs n'avaient pas décelé de fuite, donc il n'y avait aucune raison que le système automatique ne se déclenche. Par ailleurs, comme il y avait un système automatique, il n'y avait aucune raison qu'il y ait une procédure liée à une fuite d'air chaud. L'équipage a pris une décision risquée, de mal atterrir sur une piste verglacée, parce que les senseurs n'avaient pas dit ce qui se passait réellement !

Autre exemple, cette fois-ci avec Airbus. J'ai un camarade qui s'appelle le Commandant Dieu. C'est son nom. Il décollait de Rome dans les années 90. Il a été foudroyé au décollage. Son RADOM s'est éclaté comme un chou-fleur (le RADOM, c'est la partie avant de l'avion) perturbant complètement tous les senseurs de vitesse, d'altitude, etc. Donc, il s'est retrouvé dans un temps d'orage avec tous les indicateurs perturbés et il est rentré se poser en emergency en pilotant avec des instruments d'ULM.

Lorsque les capteurs ne sont pas parfaits, on a encore besoin de l'homme.

Enfin, un avion évolue dans un monde ouvert, ce n'est pas le métro automatique qui est dans un tube protégé de toute interaction. Dans un monde ouvert, par exemple, il y a eu le 11 Septembre où tout d'un coup, l'Etat souverain des Etats-Unis a fermé son espace aérien et a dit à tous les avions qui étaient sur l'Atlantique ou qui voulaient rentrer chez eux "débrouillez-vous mais pas chez nous !" Il eût fallu le prévoir avec des automates !

Encore une autre perturbation du monde ouvert : le GPS, le positionnement exact sur la terre grâce aux satellites, travaille grâce au dialogue entre tous les satellites de la galaxie GPS. Il utilise les temps de parcours des signaux radio entre ces satellites et l'objet mobile qui est l'avion. En cas d'irruption solaire, en tout cas dans le cas de cette irruption solaire qui a eu lieu en automne 2004, les signaux ont été tellement perturbés que les mobiles avaient des variations de positionnement réel jusqu'à 60 nautiques de l'endroit où ils pensaient être. Dans ces conditions, heureusement qu'il y avait des hommes à bord !

Je vous ai parlé des aspects techniques pour dire que remplacer les hommes par des machines, c'est une illusion. Maintenant parlons système social.

Vous vous souvenez qu'en 1986, je crois, il y a eu l'accident de Challenger ; une fuite dans un des réservoirs annexes de poudre a conduit à l'explosion de la navette au décollage. Il y a eu 7 victimes ; cela a été un événement considérable aux Etats-Unis. La décision de partir avait été prise par le centre de contrôle Houston en connaissance de cause alors qu'il savait qu'il y avait une fuite. Evidemment, il n'avait pas prévenu l'équipage. Après cette catastrophe, le mot d'ordre a été "plus jamais cela", mais vraiment "plus jamais". Cela a recommencé en 2003. Columbia avait perdu une série de tuiles dans son revêtement et sans véritablement prévenir l'équipage, le centre de contrôle de Houston a décidé de faire revenir cette navette sans réparation. Là encore, nouvelle catastrophe. Branle-bas de combat; tous les spécialistes des organisations, les sociologues, ont été mis sur le pont et notamment Monsieur **Larry Heimann** et son équipe. Il avait fait nombre d'études sur des industries à risques, comme par exemple le déni du médicament pour les malades du sida. Il a montré qu'une industrie à risques est construite initialement pour éviter les « erreurs de type 1 ». Cela veut dire pas de morts, pas d'accident. Ensuite avec le succès, si jamais il y a succès, et si tout se passe bien, petit à petit, toute l'énergie (homme, moyens,...) qui était mise dans cette institution se transforme pour éviter les « erreurs de type 2 », (c'est le gâchis, c'est-à-dire, l'excès de précaution). Son étude montre qu'inévitablement, lorsque les décisions opérationnelles sont prises au plus haut niveau de l'institution, alors on passe de l'évitement des erreurs de type 1 à l'évitement des erreurs de type 2 et il y a donc une erreur de type 1, c'est-à-dire un accident. C'est pour cela que je vous ai mis en clair le titre de l'étude. Vous pouvez la consulter, elle est très intéressante. C'est l'aspect systémique. Quand le Grand Système de Mr **Le Tallec** devra gérer les décisions de retour au sol ou de continuation, ou devra gérer des décisions opérationnelles, il faudra s'en souvenir.

Voyons maintenant, l'aspect économique.

Pour l'instant, les drones ont des statistiques de  $10^{-4}$ , un crash tous les 10 000 départs, pour les meilleurs d'entre eux. Il faudrait donc arriver à parcourir trois ordres de grandeur pour le transport public de passagers. Inutile de vous dire que progresser d'un ordre de grandeur, et plus on va dans ces ordres de grandeur, plus c'est extrêmement cher. Je veux simplement vous dire que la part du pilotage c'est 3 à 5 % de l'heure de vol dans une compagnie aérienne. Il faut mettre cela en rapport. Qui va payer ?

Autre problème que l'on a vu grâce à M. **Pestel** : les limitations d'indemnité des transporteurs par le système varsovien. Là, qu'en sera-t-il ? En tout cas, ce méga-système qui générera tout, lui au moins il sera solvable, et on pourra vraiment exiger les millions d'euros pour chaque victime ! Donc, cela aussi c'est un problème qu'il faut gérer.

J'ai essayé d'éliminer le fantasme de l'automatisation, pas forcément le projet de l'ONERA puisque lui encore, c'est pour dans quelques centaines d'années, mais ce qui actuellement nous fait du mal, car on essaie toujours de nous imposer beaucoup d'automates qui ne sont pas adéquats.

Maintenant, la deuxième chimère : la transformation de l'homme en machine.

Comment ? Avec cette fameuse idée que si les équipages... **Jean Pariès** hier, nous a dit cela merveilleusement. C'était aussi un fantasme, je vous cite juste la phrase de **James Reason** : « *L'erreur et l'intelligence sont les deux faces d'une même pièce de monnaie.* »

Je vous montre une statistique du LOSA. Le LOSA est l'observation des équipages en situation normale par quelqu'un qui n'est pas là pour les sanctionner mais juste pour observer. Ils ont observé que les équipages faisaient beaucoup d'erreurs ; ils faisaient même des violations. D'ailleurs, les violations sont à ce niveau-là (plus de 50 %). Ils en font donc beaucoup. Le rouge, c'est quand elles ont des conséquences néfastes. On voit que les grosses erreurs qui ont les conséquences les plus néfastes sont les erreurs de procédure ; quand on emploie une procédure plutôt qu'une autre. On le

comprend bien. Par contre, on voit que les violations de règles ont très peu de conséquences néfastes, mais ce n'est pas le sujet.

Le sujet, c'est qu'on veut transformer les hommes en machine en leur interdisant de faire autrement que la procédure. En se basant pour cela sur le Système Qualité. Hier, **Etienne Lichtenberger** a été très positif sur la Qualité et toutes ses conséquences ; ce terme Qualité était un terme positif. Je suis d'accord mais quand on associe Qualité à Assurance et quand on parle d'Assurance Qualité, et qu'on l'associe à la sécurité des vols, là, je ne suis pas positif du tout. C'est un tout autre domaine.

L'Assurance Qualité vient de l'industrie japonaise qui voulait diminuer le nombre de rebuts de leur chaîne de fabrication, ils ont donc créé le Système Qualité : « on écrit ce qu'on va faire ; on fait ce qu'on a écrit ; et on regarde la différence et on la corrige ». Mais le Système Qualité dans les meilleures usines japonaises, cela produit du  $10^{-4}$ . Cela fait veut dire qu'il y a un rebut pour 10 000 objets. Je vous rappelle que pour nous, la cible est  $10^{-7}$ .

Ensuite, le système qualité, cela veut dire qu'il y a des gens qui contrôlent que les procédures sont bien appliquées. On s'aperçoit qu'il y a très peu de contrôle malgré ce que nous a dit M. **Coffin**. En France, effectivement, il y a du contrôle, en Hollande aussi. En Europe, en général, les compagnies locales sont bien contrôlées. Mais le règlement à lui seul n'est pas porteur de sécurité.

Je prends souvent l'exemple de la circulation automobile. Il y a 10 ans, il y avait 15 000 morts par an sur les routes françaises avec un code de la route. Le code de la route n'a pas changé, on a simplement rajouté des contrôles automatiques de vitesse, de passage au feu rouge, etc., et aujourd'hui, le nombre de tués sur les routes françaises est de l'ordre de 5 000. Donc, simplement en changeant le contrôle du même règlement, on a fait progresser la sécurité de la route d'un facteur 3.

Je voulais vous raconter l'histoire de l'accident de Flash Airline, rapidement : 148 victimes. Imaginez une compagnie qui appartient à un membre de la famille du président. Elle vient de se créer. Elle a deux avions neufs, et elle vient de subir un contrôle réglementaire de la part de son Autorité qui lui a signifié un nombre incalculable d'irrégularités mais qui, dans le même temps, a vu que toutes ces irrégularités étaient bien régularisées. Parallèlement, à peine un an avant le krach, elle embauche un héros de la guerre des 6 jours. Flash Airline vous connaissez tous ? C'est un avion égyptien qui transportait beaucoup de Français et qui s'est crashé en 2004. Ils ont embauché un héros égyptien de la guerre des 6 jours, c'est-à-dire le seul chasseur égyptien qui avait descendu un avion israélien. C'était quelqu'un d'à peu près intouchable. Il était à la retraite de l'armée. Ils l'ont mis automatiquement en place de commandant de bord et cela a fait démissionner l'officier de sécurité des vols de cette compagnie. Ce jour-là, il s'est trouvé qu'il a mal enclenché le pilote automatique après le décollage, erreur bénigne. L'avion a commencé à s'incliner gentiment. Il a demandé au copilote de remettre le pilote automatique sans agir. L'avion a continué à s'incliner jusqu'à arriver à 110 degrés. Presque sur le dos, il demandait toujours à son copilote d'enclencher le pilote automatique. C'est une incompétence flagrante. Bien sûr cette compagnie et ses pilotes respectaient parfaitement la réglementation ; sur le papier, tout était parfait. C'était juste pour vous donner un exemple sur le fait que le référentiel sans contrôle, ce n'est rien.

Maintenant, on va parler du référentiel. On a eu hier, à la dernière intervention, une démonstration remarquable de ce que peut être le référentiel européen. Je ne sais pas si beaucoup de gens ont compris ce qui était sur le tableau. C'était merveilleux !

**M. CADOREL.**- Ils ne peuvent pas répondre puisqu'ils ne sont pas là !

**J.M. BIDOT.**- Ils ne veulent pas répondre ; ils sont d'accord. Ils nous l'ont dit. Le monde réel est beaucoup trop riche pour être contenu dans un référentiel ! Même si c'était possible, un opérateur serait incapable de se retrouver dans cette encyclopédie. Je voudrais reparler de la priorité des

éditeurs, de ceux qui fabriquent le référentiel. Qu'est-ce qu'ils cherchent à l'AESA ? Ils cherchent à écrire le moins possible, pour que le référentiel soit le plus condensé possible. Il fait mille pages parfois, mais quand même, le langage est le plus précis et concis possible. Illisible en situation dynamique !

Ces éditeurs de référentiel veulent aussi que l'information soit à une seule place pour améliorer la maintenance du référentiel. Si par hasard une information changeait, ce ne serait pas la peine de chercher dans tous les endroits où elle a été écrite ; donc à une seule place. Ce sont vraiment des priorités qui sont très loin des priorités des opérateurs. Les opérateurs veulent un référentiel où on peut trouver tout de suite des informations sur le problème auquel ils sont confrontés, et que la procédure à suivre ou les informations à connaître soient tout de suite disponibles, et tant pis pour les doublons.

Donc, les référentiels officiels ne sont pas faits pour les opérateurs d'une manière générale. Il faudrait les traduire en référentiels interprétables par les opérateurs mais là, il y a de la perte de sens. Et généralement, ce n'est pas fait parce que le référentiel est aussi fait pour protéger l'institution. Et, si on le traduit, si on utilise un truchement, alors on risque de rater cette protection.

Par ailleurs, la Qualité absolue veut aussi transformer les opérateurs en machines. Il faut alors sélectionner les opérateurs qui sont les plus aptes à se transformer en machine ; les plus rigoureux ; ceux qui savent mieux appliquer les procédures ; les « premiers de la classe » des petites classes. Mais on s'aperçoit qu'il y a une grande différence entre savoir appliquer une procédure et savoir résoudre un problème ; savoir faire face, savoir se débrouiller quand on a un problème.

Tout cela pour dire que c'est l'homme qui doit parcourir les derniers ordres de grandeur. Je ne suis pas là pour dénigrer le référentiel. Il nous sert ; il est utile mais de  $10^{-4}$  à  $10^{-7}$ , c'est l'homme qui doit faire ce parcours et c'est lui qu'il faut encourager. Il faut lui faciliter ce parcours.

Maintenant que j'ai tenté de détruire les deux chimères, je vous donne mes solutions.

Des procédures et un référentiel au service des opérateurs : j'en ai parlé.

Des aides intelligentes et non pas des automatismes pour automatiser, avec quelques règles que j'ai mises ici. Tout ce qui est possible d'automatiser n'est pas nécessaire ; ce n'est pas forcément une bonne chose.

Pas de pilotes cosmétiques. C'est le pilote qui va remplir les rides de l'automatisme, qui va être présent aux imperfections de l'automatisme. Un exemple que nous connaissons tous : pour faire un décollage en phase normale, il a suffi de programmer un ordinateur, un FMS, et l'avion va le faire tout seul. Mais si par hasard, on a une panne moteur lors du décollage, l'ordinateur dit "débrouillez-vous, ce n'est plus moi, et vous avez une procédure un peu plus spéciale ; vous n'avez plus à suivre le trait vert ; il faut faire un truc à vous que vous devez savoir". Donc, la plupart du temps, on ne s'entraîne pas, on ne maintient pas sa compétence et cela nous saute à la figure.

Il faut que l'automate assiste le pilote et pas le contraire. Il faut que tous les dysfonctionnements de l'automate soient suivis et corrigés, et quand on introduit une nouvelle chose, il faut une gestion du changement et une transition.

Ensuite, la troisième solution : il faut sélectionner les personnels correctement, les motiver par différents moyens, faire qu'ils soient compétents et faire qu'ils aient intégré une culture de sécurité. C'est-à-dire qu'ils adhèrent à un système. Si le système est trop loin d'eux, ils n'adhéreront pas. Cela a été très bien expliqué par Mme **Fassert**.

Enfin, il nous faut un retour d'expérience et qu'on y participe, parce que malgré ce que nous a dit **Jean Pariès**, ces retours d'expérience nous ont quand même fait progresser, même s'ils ont leurs limites. Et, nous pilotes, nous sommes pour lancer le programme LOSA, c'est-à-dire l'observation des pilotes en conditions réelles de travail. Les compagnies aériennes ont du mal à lancer ce programme, parce que ce n'est pas elles qui l'ont inventé, parce qu'il faudrait payer des royalties à l'université du Texas et pour un tas d'autres raisons. Nous sommes face à ce mur qui nous empêche de déclencher le programme LOSA et c'est une bêtise.

**M. CADOREL.**- Merci, on va continuer par le débat. Qu'en pensez-vous, Monsieur **Le Tallec** ?

**M. LE TALLEC.**- Je suis assez d'accord avec Jean-Michel sur certains points. Par exemple le coût des pilotes. Récemment, j'ai demandé au responsable de la recherche chez Boeing, s'il comptait bientôt mettre des avions cargos sans pilote en service. L'économie est considérable parce qu'on s'affranchit de l'ETOPS. Si un avion coule avec du fret, ce n'est pas grave et on s'affranchit de beaucoup de choses. Ce qui était chiffré, c'est environ 30 % d'économie. Il m'a répondu "notre plan de charges est tel pour fabriquer et créer des avions pilotés, qu'on n'a vraiment pas le temps de s'occuper de ces choses qui ne sont pas encore consensuelles". Finalement, les constructeurs ne font rien d'officiel pour faire avancer les choses vers un avion automatique, si cela peut vous rassurer.

Une autre anecdote : j'ai eu l'occasion de parler avec des gens de Bae System. Ils font des drones, comme vous le savez ; ils font aussi des avions pilotés. J'avais demandé à un ingénieur BAE qui fait des drones s'il pensait pouvoir les certifier à un niveau de sécurité équivalent aux avions pilotés. Il m'a affirmé que oui, ils pouvaient le faire d'ici 2020. Lorsque je suis allé voir un ingénieur BAE qui développe les avions pilotés, je lui ai demandé s'il pourrait faire un avion comme IFATS. Il m'a dit "non, c'est impossible de concevoir un avion avec un tel niveau de sécurité". On voit finalement que les experts des drones affirment une chose, que les experts des avions pilotés en affirment une autre. Je laisse la question ouverte ; je n'en sais rien encore. Pour le moment, on étudie juste les deux solutions.

**M. BIDOT.**- Je pense que les avions sans pilote n'apparaîtront que lorsqu'on aura complètement automatisé le contrôle. De la même manière que le CDG Val ne peut circuler que dans un système isolé du monde extérieur et automatisé, un avion non piloté ne pourra pas obéir à un contrôleur, jamais. Un contrôleur a beaucoup trop d'imagination pour satisfaire à ce que peut faire un avion automatique !

**M. LE TALLEC.**- Une précision : comme je vous l'ai expliqué, c'est plus un souci de sécurité qui nous a amenés à définir IFATS. Lorsqu'on a voulu définir ces contrats 4D, il fallait que le système de contrôle aérien demande à l'avion de faire une trajectoire très précise. Donc, il ne s'agit pas de donner un cap et une vitesse, mais vraiment de donner une trajectoire. C'est impossible à faire verbalement par le contrôleur et impossible à comprendre verbalement par un pilote. Donc, de façon tout à fait naturelle, le système ne marche que si on automatise globalement le contrôle et le pilote.

**M. BIDOT.**- On sait déjà obéir complètement à un automate. On reçoit des "*clearances*". Maintenant, il va y avoir un nouveau stade, SESAR, qui va donner directement des consignes à notre FMS et si on les accepte (il n'y a pas de raison qu'on ne les accepte pas), on laissera le FMS gérer la croisière. Tout cela est possible avec des hommes, des pilotes et des contrôleurs. C'est possible mais ce n'est pas fait. Pourquoi ? Je n'en sais rien mais c'est une question sociale, ce n'est pas une question d'automatisme ou pas.

**M. CADOREL.**- Qui veut intervenir ? Un pilote ?

**QUESTION.**- Cela prenait 20 % de temps en plus, c'était une de vos conclusions et aussi une conclusion de vos recherches. Ce qui m'intéresse moi, c'est que lorsqu'on va à Tokyo et qu'on gagne

20 % de temps sans les pilotes, on peut le faire uniquement si on va de point 1 à un point 2. C'est ma première question. Ma deuxième est : avez-vous un ordinateur ? ! Oui ? Est-ce que l'ordinateur fait toujours ce que vous voulez ? Oui ? Alors vous êtes la seule personne au monde qui y arrive !

**M. LE TALLEC.-** Pour la première question, j'ai essayé de l'expliquer précisément. Il s'agit de l'arrivée à Francfort. Elle est faite au travers d'une trajectoire en forme de trombone. Vous avez une finale en forme de coulisse de trombone, donc de longueur variable, et selon le nombre d'avions et la distance, les contrôleurs les font passer dans le trombone plus ou moins loin du seuil de piste. Avec un système comme IFATS, le trombone n'est plus utilisé, puisque les trajectoires ont été calculées de façon à arriver au moment opportun, et le virage qui était fait, c'était le virage avec la plus courte finale. Ce n'est pas en route, effectivement.

**LE SYNDICALISTE.-** Merci. Votre présentation pouvait nous amener à penser qu'on gagnait 20 % sans pilote. Je connais le projet et le contrat 4D, c'est vraiment un projet excellent, il peut aider à être plus sûr et plus efficace surtout en combinaison des trois vols. Mais voyez-vous des développements futurs sur votre recherche pour les projets 3D ? Je parle de l'avion, au cas où cela ne pourrait pas arriver et que ce ne serait pas suffisamment efficace.

**M. LE TALLEC.-** Le projet IFATS est un projet européen. Nous n'avons pas de suite pour ce projet pour le moment. Ce qui est fait, c'est ce qui a été décrit tout à l'heure sur SESAR. Dans SESAR, il y a bien les trajectoires 4D mais les contrats 4D, qui sont vraiment la solution, sont repoussés à plus long terme. Nous n'avons pas vraiment encore d'échéance temporelle pour les contrats 4D, parce que, comme le dit Jean-Michel, les contrôleurs ne peuvent pas gérer le 4D. Donc, il faudrait qu'il y ait un automatisme qui transmette directement les informations au FMS. Je suis assez d'accord avec lui : s'il y a quelqu'un à supprimer d'abord, ce sont les contrôleurs et le pilote pourrait très bien gérer les contrats 4D qui arrivent dans le FMS et dire oui ou non. Finalement, le garant de la sécurité, ce serait lui.

Il y a deux évolutions en parallèle. Il y a cette approche SESAR, contrat 4D, trajectoire 4D, et il y a le monde des drones qui progresse. Ce que j'ai essayé de montrer à la fin de la présentation, c'est que ce monde des drones existe. Les drones sont déjà utilisés et ils vont être de plus en plus utilisés avec une sécurisation des transmissions de données. Il va y avoir en parallèle la progression des deux mondes, l'aviation pilotée, l'aviation non pilotée ou pilotée du sol. Il faut faire attention. Si jamais, il y en a une qui devient plus sûre que l'autre, on sera critiqué, nous comme chercheurs, parce qu'on n'aura pas mis en garde les gens comme vous et vous, peut-être pour avoir été trop obstinés, par exemple, en ayant voulu rester à bord de l'avion coûte que coûte jusqu'à la fin. Il s'agit d'avoir une vue la plus claire possible. Je ne veux absolument pas imposer quoi que ce soit. Il faut vraiment être très pragmatique, très clairvoyant, et se faire une idée des futurs possibles.

**QUESTION.-** Par rapport au vol automatisé sans pilote, il y a un postulat que vous n'avez pas souligné, c'est que ce système est censé fonctionner à partir d'une approche très déterministe ; à savoir qu'on a envisagé toutes les situations et dans toutes les configurations possibles, parce qu'on sait très bien aujourd'hui que si les automatismes ne sont pas programmés pour gérer une situation inconnue, ils ne sauront pas faire face. Effectivement, vous avez imaginé une solution de dialogue avec des experts en engineering au niveau des constructeurs mais une problématique actuelle, aujourd'hui, c'est de garder la maîtrise d'une situation à travers une certaine forme de conscience et de représentation. Il semble que le meilleur modèle aujourd'hui soit l'acteur qui est confronté directement à cette situation. Et Jean-Michel a cité des exemples très significatifs. On pourrait en rajouter un autre, c'est l'A 300-600 de Fedex qui a reçu un missile, après décollage à Bagdad, avec le pilote qui a réappris à piloter l'avion pour le reposer. Aucun système automatique, aussi bien programmé soit-il, ni une analyse à distance de la situation, n'aurait jamais permis cela.

**M. LE TALLEC.-** C'est tout à fait exact. Le projet IFATS est déjà un peu vieux finalement, bien qu'il se soit terminé en 2007, vu les progrès que l'on constate en termes de compréhension du système drones. Comme je vous le disais tout à l'heure, le changement d'UAV en UAS (*Unmanned Aircraft System*) est relativement récent. Les Américains ont proposé cette nouvelle terminologie vers 2007 ; elle a été adoptée en Europe début 2008. Et à la place d'opérateur, qui était le mot consacré avant, pour les drones, il y a maintenant le PIC (*pilot in command*). Il n'est pas question de faire un système de drones sans avoir un pilote dans la boucle ; un pilote, pas un opérateur.

Ensuite reste à savoir ce que sera ce pilote, mais on n'envisage plus aujourd'hui d'avoir un système avec un avion qui vole sans qu'il y ait personne au sol qui le surveille, d'une façon ou d'une autre. Est-ce que le pilote aux commandes aura plusieurs avions à gérer en même temps ? C'est une question que l'on peut se poser, mais il est quasiment sûr qu'il n'y en aura pas plusieurs pour le même avion, puisqu'ils seront dans un endroit où il y aura plusieurs avions co-localisés. Lorsqu'on parle aux régulateurs d'un système autonome, cela leur fait hérisser les cheveux sur la tête. Ils ne veulent pas entendre parler de système autonome aujourd'hui. C'est le système automatique que l'on vise, pas le système autonome.

**LA SYNDICALISTE.-** Cela pose quand même la question de la fiabilité de la transmission des informations. Parce que si les informations reçues par l'opérateur à distance ne sont pas bonnes, il ne pourra avoir aucune action efficace.

**M. LE TALLEC.-** Oui, mais encore une fois, là, je repars vers les drones. Si les concepteurs de drones réussissent à faire voler ces engins... Je suis tout à fait conscient de tous les problèmes évoqués (le problème de la girouette d'incidence, etc.) qui peuvent exister mais les progrès vont être considérables sur les drones, puisque les exigences de sécurité de fonctionnement vont être considérables. Aujourd'hui, on fait l'impasse. Les systèmes dont on a parlé tout à l'heure avec le TCAS, etc., je crois qu'ils sont certifiés avec toujours l'homme et sa connaissance dans la boucle.

Pour les drones, il n'est plus question de dire "l'homme dans la boucle à bord", il n'est pas à bord. Donc, les exigences vont être d'un niveau probablement supérieur. Les industriels ne sont pas très contents, parce que cela va coûter cher mais c'est à ce prix que les drones vont voler de façon routinière. On n'envisage pas, aujourd'hui, de faire de concessions sur la sécurité des systèmes de drones, ou alors, ce seront des drones qui auront une fiabilité moins bonne qu'un avion piloté et dans ce cas, leurs opérations seront limitées au théâtre d'opérations en cas de guerre, mais on ne les verra pas survoler la France, encore moins atterrir à Roissy ou à Orly. Il y a une échéance temporellement vers 2020 ou 2025, où nous aurons des drones qui seront certifiés avec des référentiels techniques, admis par tous, avec un niveau de sécurité élevé.

**QUESTION.-** Qu'est-ce que le drone va transporter ? Si ce sont des passagers, comment vont-ils vivre ce choc culturel de prendre place dans un avion sans pilote ?

**M. CADOREL.-** Peut-être est-ce envisageable pour les low costs !

**M. LE TALLEC.-** La région Ile-de-France nous a demandé d'apprécier l'impact sociologique du transport aérien automatique. Nous avons fait une enquête auprès de lycéens entre 15 et 16 ans pour savoir ce qu'ils connaissent du transport aérien. Première remarque : un lycéen de 15 ou 16 ans ne sait pas grand-chose sur le transport aérien, le contrôle en route, le contrôle, la tâche du pilote. Tout cela est un peu nébuleux pour eux. Ils montent dans l'avion, ma foi, ils savent que l'avion vole et qu'il arrive à son aéroport final. Quand on leur demande "y avait-il un pilote à bord ou pas ?"...et maintenant que la porte du cockpit est fermée, ils ne l'ont même pas vu !

La question suivante, c'était : après la présentation d'IFATS, monteriez-vous à bord d'un avion automatique ? Nous avons été très surpris. Lorsqu'on informe un jeune de ce que pourrait être un

transport aérien automatique, qu'on lui donne certaines garanties sur la sécurité et la fiabilité, il répond "finalement, je ne verrai pas beaucoup d'inconvénients à voler dans un avion sans pilote". Il y a eu quelques exceptions. Ceux qui voulaient devenir pilotes. Ceux-là nous ont dit "vous me cassez mon rêve". Ce n'était pas le but effectivement !

**M. BIDOT.**- Je n'ai pas grand-chose à dire, si ce n'est que des jeunes qui sont au lycée, on leur en raconte beaucoup. Donc, ils sont là pour entendre et pour assimiler !

**M. LE TALLEC.**- L'éducation, c'est un problème sociologique, je ne sais pas si Mme **Fassert** peut répondre ?

**Mme FASSERT.**- Vous parlez de différence de sécurité en disant "finalement, un drone pourrait être meilleur en sécurité que le système actuel". Mais vous savez quand on dit  $10^{-6}$  ou  $10^{-7}$ , je pense que ce sont des notions qui, pour le grand public, n'ont pas vraiment de signification. Il me semble que ce n'est pas si évident que cela. Si vous présentez la situation à des jeunes (mon fils veut être pilote, je suis peut-être un peu subjective) comme cela : "si, si, je vous assure, le drone est un système qui est plus sûr qu'un système avec pilote, donc pourquoi ne pas choisir le drone ?" je pense que ce n'est pas si évident que cela, même en sachant qu'il est piloté d'en bas. Parce que ce qui est important quand on monte dans un avion, c'est que le pilote est avec nous. Il a tout intérêt à ce que cela se passe bien ! C'est tout bête mais au niveau symbolique, il y a quand même l'idée qu'on est tous dans le même bateau, en l'occurrence dans le même avion ! Toutes les questions de prospective sont toujours un peu délicates parce qu'à vrai dire, on n'en sait rien, mais en tant que sociologue, les aspects mathématiques, je pense, n'ont pas énormément d'impact dans l'imaginaire, dans les représentations du grand public. Elles n'ont pas un impact très important.

**M. LE TALLEC.**- Une petite précision sur la méthode d'évaluation des risques. L'exposé de **Maxime Coffin** parlait des scénarios d'évaluation de retours d'expérience. Ce qui est fait pour les drones, c'est exactement cela et cela commence. Les scénarios ont été proposés par Eurocontrol à des fins de *safety analysis*, la semaine dernière. Il y a eu deux scénarios pour le moment : un scénario où le drone est utilisé en *visual line of sight*, donc, en vue du pilote ; et un autre où il est utilisé en classe d'espace aérien Alpha, Bravo et Charlie. Les compagnies qui veulent faire le *safety analysis* de ces deux scénarios sont invitées à faire des offres à Eurocontrol. Aujourd'hui, pour les drones, on en est vraiment aux balbutiements. Le groupe de l'EUROCAE WG73 se réunit pour établir des normes. Ils travaillent en coopération avec le groupe SC-203 de la RTCA américaine, avec la FAA, Eurocontrol et l'AESA qui a donné aussi un certain nombre de directives. On en est là aujourd'hui pour les drones. Ce n'est pas du tout un travail de normalisation qui va être fait de façon superficielle, il va être fait avec toute la connaissance qu'on a aujourd'hui de l'établissement de référentiels de sécurité pour l'aviation pilotée.

Le processus commence doucement. Il va être long mais je reviens à ce que j'ai dit tout à l'heure : le "danger", c'est qu'on persiste à avoir deux aviations parallèles et qu'un jour, on fasse un bilan qui ne sera peut-être pas à la gloire des avions pilotés. Tout à l'heure, Jean-Michel a montré une diapo sur les accidents dus à l'équipage. Ce qu'il y a d'intéressant, c'est que cette statistique de Boeing a été supprimée. Boeing a dit que c'était trop compliqué d'affecter des accidents à l'équipage parce que les causes sont diverses. Cette enquête existe depuis des années, la planche avec répartition entre contrôle, équipage, avion, etc a disparu sur celle de 2007. Ils ont dit "on ne sait plus faire parce que ce n'est pas honnête". On voit bien qu'il y a une difficulté d'appréhension de l'origine des accidents. Mais quand même, l'équipage est responsable de certains d'entre eux, la technique aussi, et on verra ce qui se passe avec les drones.

**M. BIDOT.**- **M. BIDOT.**- Il faut dire que Boeing l'a supprimée, effectivement, parce qu'elle trouvait cette statistique stérilisante. Elle mettait sur le dos des équipages trop de choses qui

pourraient être mieux ventilées et plus productives. La statistique "facteur humain" ne veut pas dire que les pilotes ont mal fait. La statistique veut dire que si l'équipage avait agi différemment, alors, l'accident n'aurait pas eu lieu. C'est vraiment différent.

Je voudrais juste revenir sur cette idée que  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ , cela ne veut rien dire pour le grand public. Il m'arrive de faire des interventions face à des personnes qui ne savaient pas ce que c'était, qui ne sont pas mathématiciens pour 2 sous, mais quand je leur dis que la moyenne mondiale est à  $10^{-6}$ , que nous avons des compagnies qui sont à  $10^{-7}$  et d'autres à  $10^{-5}$ , que pour un même billet, suivant telle ou telle compagnie, vous avez 100 fois plus de chances de vous planter, cela leur parle !

**Mme FASSERT.**- Oui mais ce qui est vraiment difficile, c'est de savoir si le choix se posera de cette façon. C'est-à-dire, vous avez soit un drone et vous avez  $10^{-7}$ , soit un pilote dans l'avion. Je me demande si sociétalement, la question va se poser ainsi, et si elle a un sens pour les gens. Je ne sais pas.

**M. CADOREL.**- Dernière petite question et nous passerons à la conclusion du séminaire.

**QUESTION.**- Une remarque en fait. Ce projet est-il probable, est-il souhaitable ? Parce qu'il faut dépenser tellement d'argent pour de tels projets alors qu'il pourrait être utilisé pour en améliorer d'autres. Cela dépend aussi des techniques et de la sécurité qui nous préoccupe tous. Comment rendre notre domaine plus sûr ? Cela coûte de l'argent et du temps. L'argent est peut-être plus limité. Ce n'est pas tant la possibilité ou la probabilité de ce projet, mais plutôt le choix de dépenser de l'argent pour cela. Donc, il y a un dilemme en quelque sorte. Et en tant qu'Américain aux Pays-bas, je n'ai pas un sentiment de sécurité et de fiabilité par rapport aux arguments qui sont utilisés pour me convaincre, en tant que citoyen, de la sûreté du futur. Je n'en suis pas convaincu.

**M. CADOREL.**- Un grand merci à **Claude Le Tallec** et **Jean-Michel Bidot** de nous avoir donné l'occasion de discourir sur l'avenir.