



Christian Roger

8 janvier 2018

[53](#)

[Crash du vol Rio-Paris et limites de l'automatisation](#)

A la fin de cette année 2017 qui a vu pour la première fois dans l'aviation commerciale vivre une année sans aucun crash sur les avions de ligne de plus de 20 places, un de mes collègues m'a fait parvenir une étude provenant de chercheurs de l'université de Harvard sur les enseignements à tirer du crash du vol Air France Rio-Paris de 2009.

J'ai trouvé que cette contribution était tout à fait pertinente, mais comme elle était instruite par des gens qui n'étaient pas pilotes, elle nécessitait une remise en forme aéronautique et j'en ai profité pour y ajouter des faits connus, qui me semblaient bien compléter l'objectif des chercheurs. Voici ci-dessous le résultat de ces cogitations.

L'accident tragique du vol AF447 montre les conséquences improbables mais catastrophiques de l'automatisation

From Harvard University, par Nick Oliver, Thomas Calvard, Kristina Potočnik

Texte complété et remis en forme aéronautique par Christian ROGER

Le crash tragique du vol Air France 447 en 2009 a provoqué des ondes de choc dans le monde entier. La perte était difficile à comprendre étant donné le dossier de sécurité remarquable de l'aviation commerciale. Comment un équipage bien entraîné qui pilotait un avion de ligne moderne pouvait-il si soudainement perdre le contrôle de son avion pendant un vol de routine ?

Recrudescence des pertes de contrôle des avions

AF447 a précipité l'inquiétude croissante de l'industrie de l'aviation au sujet de ces accidents de « perte de contrôle », dont elle se demande s'ils ne seraient pas une conséquence de la large automatisation du poste de pilotage. À mesure que la technologie est devenue plus sophistiquée, elle a repris de plus en plus de fonctions auparavant exécutées par les pilotes, apportant d'énormes améliorations à la sécurité aérienne. Pour les principaux avions à réaction, cette amélioration sur plusieurs dizaines d'années aboutissait à accident majeur pour 2,56 millions de vols en 2016.

Et l'année 2017 a été une année record, qui vient de se terminer sans aucun crash dans l'aviation commerciale des avions de plus de 20 places, ce qui ne s'était jamais vu !

Mais même si la sécurité aérienne s'améliore, les pertes de contrôle sont la cause la plus fréquente de décès dans l'aviation commerciale aujourd'hui, représentant 43% des décès dans 37 accidents entre 2010 et 2014.

La perte de contrôle se produit généralement lorsque les pilotes ne reconnaissent pas et ne corrigent pas une situation potentiellement dangereuse, ce qui amène un aéronef à entrer dans une situation instable. De tels incidents sont généralement déclenchés par des événements inattendus et inhabituels – comprenant souvent des conditions multiples qui surviennent rarement ensemble – qui ne relèvent pas du répertoire habituel de l'expérience pilote. Par exemple, il peut s'agir d'une combinaison de conditions météorologiques inhabituelles, de lectures ambiguës ou de comportement de la technologie et d'inexpérience du pilote – dont une ou deux pourraient être acceptables, mais qui peuvent tout à fait submerger un équipage. C'est le principe du « paradoxe du fromage suisse ».

un aéronef à entrer dans une situation instable. De tels incidents sont généralement déclenchés par des événements inattendus et inhabituels – comprenant souvent des conditions multiples qui surviennent rarement ensemble – qui ne relèvent pas du répertoire habituel de l'expérience pilote. Par exemple, il peut s'agir d'une combinaison de conditions météorologiques inhabituelles, de lectures ambiguës ou de comportement de la technologie et d'inexpérience du pilote – dont une ou deux pourraient être acceptables, mais qui peuvent tout à fait submerger un équipage. C'est le principe du « *paradoxe du fromage suisse* », modèle d'échec, lorsque les trous dans les défenses organisationnelles s'alignent d'une manière qui n'avait pas été prévue. Ces incidents nécessitent une interprétation et des réponses rapides, et c'est là que les choses peuvent mal tourner.

Notre recherche, récemment publiée dans *Organisation Science*, examine comment l'automatisation peut limiter les capacités des pilotes à répondre à de tels incidents, car devenir plus dépendant de la technologie peut éroder les compétences cognitives de base. En examinant les analyses d'experts et en analysant les données des enregistreurs de données de vol et de cockpit de l'AF 447, nous avons constaté que l'AF 447 et l'aviation commerciale en général révèlent que l'automatisation peut avoir des conséquences catastrophiques inattendues qui, bien que peu probables, peuvent survenir dans des conditions extrêmes.

Automatisation dans le cockpit : une aide précieuse qui a ses limites

Durant la plupart du temps, les avions commerciaux volent en pilote automatique. Pour la plupart des pilotes, l'automatisation garantit généralement que les opérations restent bien dans des limites sûres et prévisibles. Les pilotes passent la majeure partie de leur temps à gérer et à surveiller leurs aéronefs plutôt qu'à les piloter activement.

L'automatisation des postes de pilotage, où les instruments à aiguilles ont été remplacés par des « Glass cockpit », comprend un ensemble de technologies qui remplissent plusieurs fonctions. Ils recueillent des informations, les traitent, les intègrent et les présentent aux pilotes, souvent de manière simplifiée, stylisée et intuitive. Grâce aux logiciels installés par les concepteurs, les actions pilotes servent d'intrants à un système de commande de vol qui détermine les mouvements des gouvernes de l'avion, créant une interaction entre l'action du pilote et la réponse de l'aéronef. Cela réduit le risque d'erreurs humaines dues à la surcharge, la fatigue et la fiabilité, et empêche les manœuvres qui pourraient endommager la cellule et mettre en danger l'avion.

L'automatisation offre une capacité de traitement de données massives et une cohérence de réponse. Cependant, elle peut aussi interférer avec le cycle de l'exécution, de la vérification et de l'action des pilotes, ce qui est fondamental pour le contrôle et l'apprentissage. Si cela se traduit par une surveillance moins active par les pilotes, la connaissance de la situation et leur capacité à improviser face à des événements imprévus et inconnus peuvent diminuer. Cette érosion peut être cachée jusqu'à ce qu'une intervention humaine soit nécessaire, par exemple lorsque la technologie fonctionne mal ou rencontre des conditions qu'elle ne reconnaît pas et qu'elle ne peut pas traiter.

Imaginez avoir à faire de l'arithmétique modérément complexe. La plupart d'entre nous pourraient faire cela dans nos têtes si nous le devons, mais parce que nous utilisons usuellement des calculatrices et des tableurs, si nous devons faire ces calculs de tête, cela pourrait nous prendre un certain temps pour appeler les processus mentaux pertinents. Et si on vous demandait, sans avertissement, de le faire dans des conditions stressantes et chronophages ? Le risque d'erreur serait considérable.

C'était le défi que l'équipage de l'AF447 a affronté. Mais ils ont également dû faire face à certaines «surprises d'automatisation», telles que la technologie se comportant d'une manière qu'ils ne comprenaient pas ou n'attendaient pas.

Le basique oublié : horizon artificiel, maquette avion, poussée des réacteurs

Depuis trois heures et demi, AF447 était en vol de nuit au-dessus de l'Atlantique. Le givrage transitoire durant 29 secondes des capteurs de vitesse sur l'Airbus A330 a provoqué des lectures anémométriques incohérentes, ce qui a conduit l'ordinateur à déconnecter le pilote automatique et à retirer la protection de l'enveloppe de vol, puisqu'il était programmé pour faire face à des données non fiables. Surpris, les pilotes n'avaient pas d'autre solution immédiate que de reprendre le contrôle de l'avion manuellement.

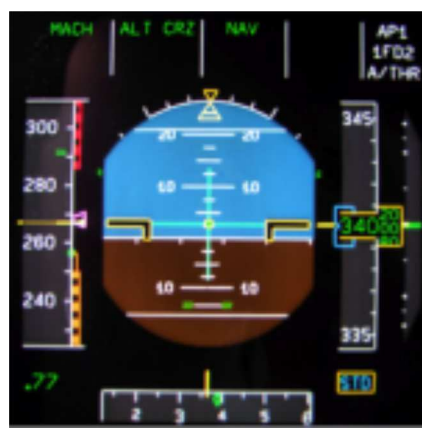
Une chaîne de messages est alors apparue sur les écrans devant les pilotes, donnant des informations cruciales sur l'état de l'avion. Les deux copilotes étaient aux commandes et le Captain était en repos dans la couchette. Le pilotage était assuré par le copilote en place droite (Pierre-Cédric Bonin) et il lui appartenait de maintenir la trajectoire de vol manuellement, tandis que l'autre copilote, en place gauche, (David Robert) devait diagnostiquer le problème.

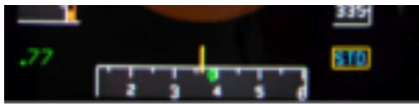
Malheureusement, les manœuvres de Bonin pour stabiliser l'avion ont eu exactement l'effet inverse. Cela était probablement dû à la combinaison d'un effet de surprise et à une inexpérience du pilotage manuel en haute altitude, aggravé par la réduction de la protection automatique.

Plus on monte en haute altitude, plus l'enveloppe de vol où doit se situer l'avion se restreint par rapport à ce qu'elle est en basse altitude. Les pilotes utilisent rarement le pilotage manuel à haute altitude, parce que c'est fastidieux et qu'il requiert un pilotage « plus pointu » que dans les basses couches de l'atmosphère. Ce type de pilotage est très peu enseigné durant les stages de qualification. Bonin a tenté de corriger un léger roulis qu'il avait lui-même créé lorsque le pilote automatique s'est déconnecté, mais il a trop corrigé, (« over control » en termes pilotes), ce qui a fait rouler l'avion brusquement à gauche et à droite plusieurs fois, du fait qu'il déplaçait son manche latéral d'un côté à l'autre. En même temps, alors que c'était sans nécessité, il a également tiré sur le manche, ce qui a fait grimper l'avion (3000 pieds en 18 secondes) sans ajouter de poussée, ce qui a provoqué une diminution de la vitesse jusqu'à ce que l'avion décroche et qu'il commence à descendre rapidement, presque en chute libre (15 000 pieds/min).

Ni Bonin ni Robert, ni Marc Dubois, le Commandant de Bord, qui est entré dans le poste de pilotage 90 secondes après l'incident, n'ont identifié un décrochage, alors que l'avion en manifestait plusieurs indices et qu'un signal sonore « Stall » a retenti 75 fois jusqu'à l'impact avec l'eau. Il faut dire que la logique de fonctionnement incohérente de cette alerte ne les a pas aidés.

Sur tous les avions, l'instrument fondamental permettant d'apprécier la situation spatiale est l'horizon artificiel, indication gyroskopique qui restitue la situation spatiale (position du ciel et de la Terre) associé à une maquette qui simule les ailes de l'avion. Cet instrument permet d'évaluer l'angle d'inclinaison des ailes et les attitudes à cabrer ou à piquer.





Aucun des trois pilotes n'a remarqué que :

1°) Les trois horizons artificiels qu'ils avaient sous les yeux étaient en phase, ce qui donnait une certitude de leur bon fonctionnement.

2°) La position de la maquette avion sur ces horizons artificiels était aberrante, eu égard aux performances possibles de l'A 330 à haute altitude. Dans une croisière normale au niveau 350, la maquette de l'avion sur l'horizon artificiel est à +2°.

Dès la déconnexion du pilote automatique sous l'effet du givrage d'une sonde Pitot, qui fournit l'indication de vitesse air au pilote automatique, le copilote en charge du pilotage (à droite), cabre l'avion depuis les 2° de croisière jusqu'à 13°, ce qui est énorme à 11 000m d'altitude où le domaine de vol possible est très étroit. L'avion est toujours à ses 83% de poussée valables en croisière, mais sous l'effet du cabré, la vitesse s'écroule et l'altitude passe de 35.000 à 38.000 pieds en 18 secondes. Ce n'est qu'en arrivant à 38.000pieds que la poussée est mise sur le cran « CLIMB » (montée) et elle atteint 104% en 12 secondes.

3°) Le copilote Bonin gardant obstinément son manche très à cabrer, à plus de 10° par rapport à l'horizontale, après 1 minute et 30 secondes après la déconnexion du pilote automatique, l'avion s'engage dans un décrochage profond et descend à plus de 10.000 pieds/min.

Dès ce moment, 1.5 minute après la perte du PA, la récupération du décrochage est une mission quasi impossible, car pour ajouter à l'erreur des pilotes, les automatismes ajoutent une impossibilité de rattrapage en faisant passer le plan horizontal (PHR = plan horizontal réglable) en position plein piquer. Il aurait fallu environ 40 secondes pour corriger cette anomalie. La partie était finie.

Il s'écoulera 4 minutes et 24 secondes entre la déconnexion du pilote automatique et l'impact avec la mer, avec un manche qui restera durant tout ce temps outrageusement à cabrer sauf durant 40 secondes où le copilote figé sur son manche esquissera un léger mouvement de correction à piquer.

Durant tout ce temps, le seul pilote qui fait état de la situation de l'avion en lisant l'horizon artificiel est le Captain qui fait remarquer « Assiette 10° », mais.....c'est 3 secondes avant l'impact avec la mer !

Il est fort possible qu'au lieu de suivre les indications Assiette/Horizon artificiel, les pilotes ont voulu piloter leur trajectoire avec ce que les pilotes appellent le « Directeur de vol », des aiguilles mobiles, qui orientent le pilotage de l'inclinaison et du cabré pour atteindre un objectif de trajectoire. Mais pour tous les pilotes bien instruits, les instruments fondamentaux de la conduite du vol sont l'horizon artificiel et sa maquette, auquel s'ajoute la poussée des moteurs.

Dans la confusion, Bonin a mal interprété la situation en disant que l'avion volait trop vite et a réduit la poussée et esquissé un mouvement pour appliquer les aérofreins – le contraire de ce qui était nécessaire pour récupérer le décrochage. Robert l'en a dissuadé et a tenté de prendre le contrôle, mais Bonin a continué à essayer de piloter l'avion. À aucun moment, l'équipage n'a compris ce qui se passait et l'AF447 s'est écrasé dans l'océan, avec la perte de tous les 228 passagers et membres d'équipage.

L'ergonomie du cockpit n'est pas exempte de critiques et d'anomalies

La tragédie AF447 révèle clairement l'interaction entre la technologie sophistiquée et les pilotes. Cela a commencé avec le transfert soudain et inattendu du contrôle aux pilotes, dont l'un, inexpérimenté pour voler à la main en altitude, a rendu bien pire une situation déjà difficile. Un exercice de simulation après l'accident a démontré qu'en l'absence des actions du copilote, l'AF447 serait resté à son altitude de croisière après la déconnexion du pilote automatique.

Avec le début du décrochage, il y avait beaucoup de signaux sur ce qui se passait à la disposition des pilotes. Mais ils ont été incapables de rassembler ces indices dans une interprétation valable, peut-être parce qu'ils croyaient qu'un décrochage était impossible, puisque la technologie du vol empêcherait normalement les pilotes de causer un décrochage.

La possibilité qu'un aéronef puisse se trouver dans une situation très critique sans que l'équipage s'en aperçoive était apparemment au-delà de ce que les concepteurs de systèmes d'aéronefs avaient imaginé. Les caractéristiques conçues pour aider les pilotes dans des circonstances normales ajoutent maintenant à leurs problèmes. Par exemple, pour éviter les fausses alarmes, l'alarme de décrochage a été conçue pour se couper lorsque la vitesse descendait en dessous d'une certaine vitesse non exploitable, ce qu'indiquait les sondes de vitesse durant la descente rapide de l'AF447. Cependant, lorsque les pilotes ont effectué deux fois les bonnes actions de récupération (piqué), la vitesse a augmenté, ce qui a provoqué la réactivation de l'alarme de décrochage, alors qu'une solution de rattrapage valide était en cours. Tout cela a contribué à la difficulté des pilotes à saisir la nature de leur situation.

Enseignements à tirer pour les concepteurs

Cette idée – que la même technologie qui permet aux systèmes d'être efficace et largement sans erreur crée également des vulnérabilités systémiques qui entraînent des catastrophes occasionnelles – est appelée « le paradoxe de systèmes presque totalement sûrs ». Ce paradoxe a des implications pour le déploiement de la technologie dans de nombreuses organisations, et pas seulement celles qui sont critiques pour la sécurité des vols.

Une de ces implications est l'importance de la gestion des transferts de la gestion des machines vers les humains, qui s'est mal passé dans AF447. Comme l'automatisation a gagné en complexité et en sophistication, les conditions dans lesquelles de tels transferts sont susceptibles de se produire ont également augmenté en nombre et en complexité. Est-il raisonnable de s'attendre à ce que des humains effrayés et non entraînés soient en mesure de diagnostiquer et de répondre instantanément à des problèmes suffisamment complexes pour tromper la technologie ? Cette question deviendra encore plus pertinente au fur et à mesure que l'automatisation imprègne davantage nos vies, par exemple lorsque les véhicules autonomes sont introduits sur nos routes.

Augmenter le pilotage manuel par les pilotes n'est qu'une solution partielle

Comment pouvons-nous tirer parti des avantages offerts par la technologie tout en conservant les capacités cognitives nécessaires pour gérer des situations exceptionnelles ? Les pilotes subissent un entraînement intense, avec des évaluations régulières, des exercices et des simulations, mais la perte de contrôle demeure une source de préoccupation.

À la suite de la catastrophe de l'AF447, la FAA a exhorté les compagnies aériennes à encourager le pilotage manuel afin de prévenir l'érosion des compétences de base en pilotage. Cet usage régulier permet de maintenir un système de connaissance permettant d'identifier des anomalies, diagnostiquer des situations peu fréquentes et répondre au problème de façon appropriée et rapide.

Les organisations doivent maintenant considérer l'interaction de différents types de risques. Plus d'automatisation réduit le risque d'erreurs humaines, la plupart du temps, comme le montrent les excellents dossiers sur la sécurité de l'aviation. Mais l'automatisation conduit également à l'érosion subtile des capacités cognitives qui ne peuvent se manifester que dans des situations extrêmes et inhabituelles. Cependant, il serait imprudent de simplement annuler l'automatisation, par exemple en insistant sur plus de vols manuels, car cela augmenterait le risque d'erreur humaine à nouveau. Les entreprises doivent plutôt être conscientes des vulnérabilités que l'automatisation peut créer et réfléchir de manière plus créative aux moyens de les corriger.

l'automatisation, par exemple en insistant sur plus de vols manuels, car cela augmenterait le risque d'erreur humaine à nouveau. Les entreprises doivent plutôt être conscientes des vulnérabilités que l'automatisation peut créer et réfléchir de manière plus créative aux moyens de les corriger.