

# Boeing 737 Max, chronique d'un crash organisationnel annoncé

Cas écrit par Céleste Fournier, Oriane Sitte de Longeval, Véronique Steyer et Louis Vuarin

Diffusion réservée à l'École polytechnique



*Répondez aux questions **en mobilisant les grilles d'analyse du cours**. Justifiez vos réponses en vous appuyant sur le cas, mais gardez en tête que la paraphrase, c'est-à-dire la reproduction des éléments du texte sans analyse, vous fait perdre du temps et ne vous rapporte pas de points.*

**Question 1 :** Caractérisez la configuration structurelle selon Mintzberg qui prédominait jusqu'au rachat de McDonnell Douglas par Boeing en 1997, et les évolutions de cette structure après le rachat. Au moment de la conception du 737 MAX, en quoi et pourquoi les mécanismes de coordination n'ont-ils pas permis de prévenir les deux accidents ? (3 points)

**Question 2 :** Décrivez la culture organisationnelle au sein de Boeing avant le rachat de McDonnell Douglas par Boeing en 1997 et au moment de la conception du 737 Max. (3 points)

**Question 3 :** Quels sont les mécanismes d'incitation qui prédominaient au sein de Boeing au moment de la conception du 737 Max ? (2 points)

**Question 4 :** Boeing a progressivement intégré le principe consistant à accepter de résoudre les problèmes de sécurité rencontrés par un métier (ici, notamment un problème d'architecture lié au nouvel emplacement des moteurs, plus gros et plus lourds) durant le processus de conception par le développement de solutions palliatives par d'autres métiers (un patch logiciel agissant sur le pilotage, le MCAS). Analyser ce que ce principe induit sur la gestion de la sécurité, en explicitant ses effets sur les processus de décision au sein de l'organisation à l'aide des **trois modèles de la décision**. (5 points)

**Question 5 :** Faites une analyse des relations de pouvoir entre l'Agence Fédérale Américaine de l'Aviation (FAA) et Boeing. Comment ces relations influencent-elles la gestion de la sécurité chez Boeing ? (2 points)

**Question 6 :** **En vous appuyant sur vos analyses précédentes**, comment modifier l'organisation pour restaurer une capacité de Boeing à « **innover en sécurité** » ? Choisissez deux préconisations qui vous semblent clés, et montrer en quoi elles permettent de résoudre les problèmes précités (5 points).

En 2017, 50 ans après le lancement du Boeing 737, l'avionneur américain lance la quatrième génération de son avion culte, le 737 Max. Cette nouvelle flotte d'avions (737 Max 7, Max 8, Max 9, Max 10) est dotée de moteurs CFM International LEAP-1B, plus efficaces. Cette modification vise à économiser du carburant : le 737 Max consomme 20 % moins que le 737 *Next Generation* précédent, et son coût d'exploitation par siège est inférieur de 8 % à l'A320 Neo d'Airbus, son principal concurrent

Mais, deux ans après son lancement, le succès du 737 Max est contrarié par deux accidents dramatiques. Un premier accident a eu lieu le 29 octobre 2018, touchant le vol 610 de Lion Air. L'avion s'abîme en mer de Java, 13 minutes après son décollage, emportant avec lui 189 personnes. Puis, le 10 mars 2019, un autre 737 Max, exploité cette fois par Ethiopian Airlines, s'écrase six minutes après son décollage et fait 157 victimes. Cela semblait pourtant inconcevable : « *Que deux avions flambants neufs, d'un tout nouveau modèle, s'écrasent à cinq mois d'écart l'un de l'autre est extraordinaire et sans précédent dans les temps modernes* »<sup>1</sup>.

### Deux accidents, un même scénario

Dès le premier crash, Boeing privilégie la thèse de la responsabilité de la compagnie aérienne. Il faut dire que l'historique de la compagnie indonésienne Lion Air encourage cette interprétation. De 2003 à 2007, le taux d'accident en Indonésie est vingt fois plus élevé que la moyenne mondiale, conduisant l'Union européenne et les États-Unis à interdire de façon permanente l'accès de cette compagnie à leur territoire national<sup>2</sup>. Parmi les éléments douteux : l'avion qui s'est écrasé venait de rencontrer des problèmes sur son vol précédent : « *A notre avis l'avion n'était plus en état de voler et n'aurait pas dû continuer* », explique ainsi le responsable de l'agence indonésienne de sécurité des transports à la presse après le crash. Dix jours plus tard, un autre avion de Lion Air percute un poteau sur le tarmac de l'aéroport de Bengkulu (île de Sumatra en Indonésie), sans faire de blessé. Il faut dire que Lion Air adopte pour la formation de ses pilotes une approche digne d'une chaîne de production, sans aucune préparation à la gestion de l'inattendu. Avec des frais de scolarité de 60 000 dollars, les 150 à 200 étudiants sont assurés de terminer leur formation : le taux d'achèvement, anormalement élevé, est de 95%. Si d'autres pistes sont rapidement avancées pour expliquer le crash, la question de la négligence reste aux premières heures de l'enquête au cœur des préoccupations des enquêteurs indonésiens.

Le cours en Bourse de l'action de Boeing chute à la suite du crash, mais remonte dès le lendemain. Pour David Calhoun, Président de Boeing, « *cela ressemblait à une anomalie* ». Pourtant, pilotes et ingénieurs trouvent l'accident déconcertant : les données satellitaires préliminaires montrent que l'avion a plongé juste après le décollage, puis s'est rétabli - puis a plongé de nouveau, et s'est rétabli, encore et encore. Vingt-deux fois de suite. Cela ne ressemble pas à la trajectoire de vol d'un pilote qui perd le contrôle. Mais aucun des *top managers* de Boeing n'a alors un passé de pilote, et le seul ingénieur parmi l'équipe dirigeante est le CEO, Dennis Muilenburg.

Le deuxième crash, cinq mois plus tard, fait voler en éclat cette explication. L'étude des données des vols met en lumière, dans les deux cas, une activation intempestive du MCAS, un logiciel qui visait pourtant justement à prévenir le décrochage de l'appareil. L'analyse des boîtes noires montre des pilotes désarmés, qui s'affairent à désactiver le MCAS qui continuellement se réactive. Le nez de l'avion se redresse, replonge, se redresse, encore et encore jusqu'à l'impact. En quelques jours, les 737 Max sont interdits de vol dans le monde entier, et leur production est suspendue en janvier 2020. S'ensuit le départ de Muilenburg, plusieurs milliards de dollars de pertes pour l'entreprise, et une chute importante de ses ventes au profit d'Airbus. Aux crashes des deux avions, menace donc de succéder un crash financier et industriel.

Une enquête est lancée par les autorités américaines et donne lieu en septembre 2020 à un rapport qui met en exergue de nombreux dysfonctionnements. Cette analyse rétrospective esquisse la

---

<sup>1</sup> <https://theconversation.com/crashes-conception-defectueuse-crise-aerienne-le-boeing-737-max-revolera-t-il-un-jour-133390>

<sup>2</sup> L'Europe sortira cependant Lion Air de la liste noire des compagnies aériennes en juin 2016.

convergence de facteurs organisationnels qui, au-delà des dimensions techniques, auraient concouru à cette situation dramatique.

### **Boeing, un pilier de l'industrie aérospatiale**

L'histoire de Boeing débute en 1916 lorsque William Boeing, passionné par les premiers avions, et son ami Conrad Westervelt de l'US Navy construisent leur premier modèle, un hydroglisseur. Les deux guerres mondiales stimulent le développement de la "Boeing Airplane Company". La première commande est passée par la Navy en 1917. Plus tard, la deuxième guerre mondiale verra Boeing engranger près de 10.000 commandes.

Après la guerre, Boeing devient le fer de lance du développement du transport commercial à réaction. Le quadrimoteur 707, lancé en 1954, est si performant qu'il démode tous les produits concurrents à hélices. En 1967, Boeing lance le 737 qui offre une efficacité énergétique, une autonomie et une fiabilité inégalée à l'époque. Il va devenir l'avion à réaction le plus vendu au monde<sup>3</sup>. Boeing participe aux avancées de la conquête de l'espace, et aux premiers pas de Neil Armstrong sur la Lune en 1969. La fusée Saturn V d'Apollo 11 est en effet propulsée par un premier étage signé Boeing. Sa participation aux programmes de la navette spatiale de la NASA et de la Station spatiale internationale (ISS) renforce sa réputation d'être l'une des principales sociétés d'ingénierie au monde.

Pendant huit décennies, les exigences de l'ingénierie aérospatiale dictent l'architecture sociale et managériale de Boeing, et modèlent sa culture. Durant cette période, tous les PDG de Boeing sont issus du corps des ingénieurs aérospatiaux. La plupart des managers et des membres de la direction le sont également. « *Ses dirigeants détenaient des brevets, concevaient des ailes, parlaient le langage de l'ingénierie et de la sécurité comme langue maternelle...* »<sup>4</sup>. Au sein de l'entreprise, d'ailleurs, les ingénieurs « *se considèrent davantage comme des membres d'une société savante que comme de simples employés d'une société* »<sup>5</sup>. Pour ces ingénieurs, voler est de manière inhérente dangereux. Il faut que leurs avions soient les meilleurs et les plus sûrs du ciel. Cette « *ingénierie des bretelles et des ceintures* » met l'accent sur le service client et contribue à créer une marque forte. Mais cette structure organisationnelle, en dehors du domaine de l'ingénierie aérospatiale, est lente à s'adapter.

Dès 1980, le fonctionnement traditionnel de Boeing est questionné : il est un « *désavantage lors des appels d'offres sur les marchés publics, où le faible coût l'emporte souvent sur la qualité* »<sup>6</sup>. « *Boeing a toujours été moins une entreprise qu'une association d'ingénieurs ... Une pure bravade technique - et parfois un mépris presque volontaire des réalités financières - ont défini [Boeing] ...* »<sup>7</sup>. Parallèlement, le *Airline Deregulation Act* adopté par le gouvernement américain en 1978 entraîne la naissance de tout un secteur de transporteurs à bas prix, limitant leur flotte d'avions à un ou deux modèles.

La fin de la guerre froide, au début des années 1990, marque une phase de consolidation de l'aviation commerciale, parallèlement à une consolidation du secteur de la Défense faisant face à une forte baisse en équipements et avions militaires. Boeing acquiert plusieurs entreprises de défense et d'aérospatiale. En 1997, elle fait l'acquisition de McDonnell Douglas (MDD). La fusion des activités de Boeing et de MDD marque un vrai changement pour l'entreprise. De nombreux dirigeants de MDD conservent des postes de direction ; or cette entreprise avait une vision financière beaucoup plus ancrée. Une des décisions phare après la fusion est ainsi le déménagement du siège de Boeing de Puget Sound près de Seattle, pour rejoindre Chicago. Cette décision vise à souligner aux yeux des marchés, et des salariés, que Boeing n'est plus simplement une compagnie fabriquant des avions commerciaux, mais, « *une entité beaucoup plus grande, avec une discipline financière, un ensemble de produits diversifié, des méthodes de production de pointe et une portée mondiale* ». Plus de distance entre le

<sup>3</sup> En 2016, un vol commercial sur trois était assuré par un 737. En 2018, on comptabilisait 10000 737 produits depuis son lancement.

<sup>4</sup> Useem, J. (2019) The Long-Forgotten Flight That Sent Boeing Off Course, *The Atlantic*, November 20

<sup>5</sup> Imberman, W. (2001). Why engineers strike--The Boeing story. *Business Horizons*, 44(6), p.40

<sup>6</sup> Time (1980) Masters of the air: Boeing captures the cruise missile contract and dominates world aviation, 52–58.

<sup>7</sup> Useem, J. (2000) Boeing vs. Boeing. *Fortune*, October 2, vol. 142.

siège et le site historique permet aussi d'ancrer les relations avec les filiales sur d'autres bases, plus axées sur l'évaluation des résultats financiers. Les rachats d'actions, utilisés jusqu'alors avec parcimonie par Boeing, augmentent pour atteindre plus de 10 milliards de dollars par an, jusqu'à dépasser les dépenses de recherche et développement.

Ces évolutions ne se font pas sans heurts. Pour Sorscher, un ancien ingénieur Boeing, dans les années 90, l'accent est mis d'abord sur la productivité. Les ouvriers sont au centre de cet univers axé sur la performance, favorisant l'implication de tous et des démarches « *bottom-up* » d'amélioration de la qualité. C'est une période de partenariat entre collaborateurs et managers. Pour beaucoup d'ingénieurs, elle fut la plus épanouissante de leur vie professionnelle. Ils se souviennent d'Alan Mulally, le CEO de l'époque, étreignant un ouvrier qui avait aidé à résoudre un problème, tâchant son costume à mille dollars sans s'en soucier. A l'époque, ne pas divulguer des informations négatives aux managers aurait eu un impact négatif sur votre carrière.

Mais les règles du jeu changent avec le programme du 787 à la fin des années 90 : l'État de Washington doit alors offrir des allègements fiscaux pour sécuriser les lignes de production de l'entreprise sur son territoire ; les fournisseurs doivent rivaliser avec des concurrents du monde entier ; les salariés découvrent que leurs positions sont précaires. Désormais, faire remonter un problème non résolu peut représenter un risque : « *Si ... des collègues ont soulevé une objection et que le problème n'est pas pris au sérieux ou qu'ils sont considérés eux-mêmes comme problématiques, alors vous captez le message* ». Sorscher dénonce les effets de cette fusion avec les activités de MDD, une entreprise selon lui dysfonctionnelle, et dotée d'une usine d'avions délabrée et d'un CEO, Harry C. Stonecipher qui gérait ses ingénieurs selon le « modèle hollywoodien » : « *Embauchez-les pour quelques mois lorsque les échéances des projets sont proches, renvoyez-les lorsque vous avez besoin de faire du chiffre.* » En 2000, les ingénieurs de Boeing organisent une grève de 40 jours. Ils obtiennent des concessions matérielles importantes de la direction, mais héritent d'une gamme de produits notoirement dysfonctionnelle.

C'est pourtant Stonecipher qui prend la tête de Boeing en 2003. Il est connu pour avoir dit aux salariés de « *cesser de se comporter comme une famille et de devenir plus comme une équipe. Si vous ne jouez pas, vous ne restez pas dans l'équipe.* » Il est également accusé d'avoir cherché à marginaliser les ingénieurs. Selon la directrice financière de l'époque, il voulait que la direction de Boeing voie les avions avec détachement. En pratique, les actionnaires reçoivent 78 milliards de dollars de dividendes sur les 15 dernières années, contre 11 pour Airbus, et l'action double de valeur entre 2005 et 2015.

Pourtant l'attachement des salariés à leur entreprise résiste : « *Quand je dis à mes amis : 'Nous avons vendu huit avions aujourd'hui', mes amis me disent : 'Vous n'avez pas vendu les avions, c'est Boeing qui l'a fait'. Ce qu'ils ne comprennent pas, c'est que nous sommes Boeing - je suis Boeing. Vous ne travaillez pas seulement pour eux ; l'entreprise fait partie de vous* », explique en 2006 un ingénieur de 38 ans. Mais l'entreprise est marquée par une guerre sans fin de la direction contre les syndicats, qui représentaient autrefois plus de la moitié des employés. Certaines usines ont fermé pour être relocalisées sur des territoires moins syndiqués. Mais, même sur une chaîne d'assemblage non syndiquée de Boeing inaugurée en 2011, des dizaines de plaintes de lanceurs d'alerte et de poursuites pour licenciement abusif sont recensées, mettant en cause des contrôles de la qualité falsifiés, des employés qui cherchaient à appliquer les normes intimidés et des avions livrés avec des vis desserrées, des fenêtres rayées et des débris aléatoires. Dernier fait dénoncé : lors de la mise au point du 737 MAX, Boeing et ses sous-traitants auraient pris l'habitude de faire appel à des travailleurs temporaires, payés à peine 9 dollars de l'heure et souvent issus de pays dépourvus de connaissances approfondies en aérospatiale, notamment l'Inde – entre autres pour le développement du MCAS.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Le *Maneuvering Characteristics Augmentation System* (MCAS) est un dispositif matériel et logiciel du Boeing 737 MAX destiné à éviter le décrochage en pilotage manuel, volets rentrés. Quand il détecte que l'incidence de l'avion dépasse une valeur considérée comme dangereuse (fonction de la vitesse et de l'altitude), il s'active pour compenser l'avion à piquer en déplaçant le plan horizontal réglable de l'empennage.

## Le 737 Max : une réponse à la concurrence

Boeing n'en reste pas moins le plus grand fabricant d'exportation américain et fait travailler 8 000 fournisseurs à travers les États-Unis. Selon le *White House Council of Economic Advisers*, en 2019, les problèmes de Boeing ont réduit le produit intérieur brut du pays de mars à juin de 0,4 point.

L'avionneur américain est engagé depuis longtemps dans une concurrence avec Airbus, seul autre rival majeur sur l'aviation long-courrier. Boeing s'était imposé comme le premier constructeur mondial, mais Airbus rattrape son retard dans les années 2010. En 2019, l'avionneur européen s'imposera à son tour en livrant près de 863 appareils, en hausse de 8% par rapport à 2018. Les versions re-motorisées de la famille des A320 détiennent alors plus de 70% des parts de marché. Boeing se met à douter. En interne, le long-courrier 747-8 et l'avion ravitailleur KC-46 rencontrent des difficultés, le 787 accuse près de trois ans de retard, et le climat social, avec une grève de 58 jours des machinistes en 2008, est pour le moins tendu. Lorsqu'American Airlines, son client historique, commence à s'intéresser à l'A320 Neo, dont le nouveau moteur permet de faire d'importantes économies de carburant, le groupe américain n'a plus eu le choix : le 737 sera remotorisé lui-aussi.

Le succès de Boeing depuis sa création est en partie lié à une philosophie de conception cohérente, qui s'appuie sur la compétence des pilotes comme dernière ligne de défense. Cette approche est l'héritage d'une époque où les pilotes intervenaient régulièrement pour gérer des problèmes techniques et empêcher les avions de s'écraser. Mais les améliorations techniques des années 1980 ont renversé cette tendance dans le secteur aérien pour imposer un modèle d'« ultra sécurité » : les systèmes de pilotage, largement automatisés, réduisent au maximum le rôle du « facteur humain », l'autonomie des individus, et multiplient les supervisions.

Alors que Boeing s'accroche résolument à ses conceptions centrées sur le pilote, Airbus embrasse cette nouvelle approche, diamétralement opposée, et fait le pari d'un nouvel avion robotisé exigeant des compétences de pilotage minimales. Ce système est censé remédier au déclin accéléré des compétences aéronautiques, grâce à l'utilisation de commandes de vol numériques pour réduire la charge de travail des pilotes, éliminer les caractéristiques de pilotage indésirables et intégrer des protections « à l'épreuve » des pilotes contre les erreurs telles que les décrochages aérodynamiques, les inclinaisons excessives et les piqués en spirale. Dans cette approche, c'est donc l'avion qui rattrape les erreurs du pilote. Ces efforts aboutissent à l'avion « *le plus intelligent* » jamais construit, un chef d'œuvre de vol électronique : l'Airbus A320 et les générations suivantes, dont l'A320 Neo.

Face à Airbus, Boeing lance le 737 Max quinze mois plus tard. En octobre 2014, l'avionneur comptabilise déjà 2 326 commandes fermes pour ce nouvel avion. Mais l'entreprise est contrainte de suspendre ses vols d'essai pour des raisons techniques liées aux moteurs. Elle parvient toutefois à tenir les délais et fournit, le 16 mai 2017, le tout premier exemplaire. 350 exemplaires sont livrés entre 2017 et fin janvier 2019. Présenté comme particulièrement « *flexible, fiable et efficace* », le 737 Max devient rapidement l'avion le plus vendu dans le monde.

## La fabrique du 737 Max

Pour réussir à intégrer les nouveaux moteurs, plus gros, Boeing a dû modifier leur emplacement et la forme des nacelles par rapport au 737 *Next Generation*. Le problème, c'est qu'en certaines circonstances, ces modifications créent une vulnérabilité, et les ingénieurs de Boeing en sont conscients dès le départ. Très tôt dans le processus de conception, lors des tests en soufflerie réalisés en 2012 sur un modèle réduit, ils notent que l'avion a tendance à se cabrer lors d'une manœuvre extrême spécifique<sup>9</sup>, effectuée en simulateur à environ 20 000 pieds d'altitude. Le pilote d'essai en chef du 737 MAX, Ray Craig, souhaite alors trouver une solution physique pour améliorer

---

<sup>9</sup> Cette manœuvre extrême est une spirale inclinée appelée « *wind-up turn* » qui amène le pilote de l'avion à gérer un décrochage. Cette manœuvre n'a pas de raison d'avoir lieu sur un vol commercial normal, mais pourrait se produire si les pilotes, pour une raison quelconque, devaient exécuter un virage serré.

l'aérodynamique de l'avion, en ligne avec la philosophie de Boeing : ne pas se reposer sur des actions automatisées qui prendraient le contrôle de la situation à la place du pilote. Mais aucune solution aérodynamique n'est suffisante. Les retards dans le développement du 737 Max obligent les ingénieurs à développer une solution palliative ne remettant pas en cause les grandes lignes (notamment en termes d'ergonomie et d'ingénierie) du projet à date.

La parade trouvée est un logiciel appelé MCAS (*Maneuvering Characteristics Augmentation System*). Le fonctionnement, sur le papier, est simple : dès que l'avion tend à se cabrer, le MCAS active automatiquement l'orientation des stabilisateurs horizontaux pour faire piquer du nez l'avion. Il est ainsi pensé pour corriger les difficultés entraînées par la modification de la forme aérodynamique de l'avion, nécessaire pour implanter les nouveaux moteurs. Craig aurait lui-même été enthousiaste la première fois qu'il a testé le MCAS en simulateur.

Cela signifie cependant qu'on résout un problème d'architecture en déployant une solution logicielle liée au pilotage. La question posée dans un métier trouve sa réponse dans un autre. Et pour mettre en œuvre cette réponse logicielle, il faut s'appuyer sur des capteurs. Un troisième métier entre en œuvre. Pour que cette solution soit viable, une très bonne communication entre les métiers, et un suivi managérial des réponses apportées à la vulnérabilité sont indispensables.

Le développement du MCAS apparaît rétrospectivement comme mouvementé.

Dans une première version, le MCAS ne s'active que dans une situation extrême : lorsque l'incidence et la force G sont toutes les deux élevées.<sup>10</sup> Il s'appuie donc sur deux types de capteurs : une sonde AOA et un capteur de force G. Le MCAS fournit alors « *une commande à piquer pour s'opposer au cabrage ... limitée à 0,6 degré par rapport à la position ajustée.* » Dit autrement, en s'activant, le système fait plonger le nez de l'avion. Cette version initiale cherche cependant à limiter l'effet du système, en lui donnant le moins d'autorité possible (grâce à la limite de 0,6 degré). Cette limite de 0,6 degré est intégrée dans l'évaluation du système par l'Agence Fédérale Américaine de l'Aviation (FAA).

Un point controversé de cette conception première est que le fait que le MCAS ne s'appuie que sur une seule sonde d'incidence AOA. Or, sur les deux vols accidentés, tout débute par la défaillance de cette sonde. Puisque deux sondes AOA sont disponibles, présentes de chaque côté du nez de l'avion, pourquoi n'en utiliser qu'une seule ? Boeing, lors de la conception, calcule l'effet d'éventuelles pannes du MCAS. Dans cette évaluation, chaque scénario est qualifié en panne « mineure », « majeure », « dangereuse » ou « catastrophique » - des catégories qui déterminent le degré de redondance nécessaire des équipements. Ce calcul montre que si le MCAS se déclenchait par inadvertance ou continuait à fonctionner pendant 3 secondes<sup>11</sup>, on risquerait une défaillance « majeure » (une panne dont la probabilité est inférieure à 1 sur 100 000 et qui augmenterait la charge de travail de l'équipage du poste de pilotage). Dans ce cas, les systèmes sont autorisés à s'appuyer sur un seul capteur d'entrée. Une autre possibilité de défaillance, cette fois « dangereuse » (pouvant causer des blessures graves ou mortelles à un petit nombre de personnes mais sans perdre l'avion), est aussi identifiée mais avec une probabilité d'1 fois tous les 223 billions d'heures de vol<sup>12</sup>. Boeing conclut donc qu'un seul capteur est suffisant, ce qui simplifie la conception.

Appuyer le logiciel sur deux capteurs AOA aurait en effet eu des implications en termes de sécurité et de coûts. Cela signifie être capable de repérer les désaccords entre les deux capteurs, donc développer un dispositif pour réconcilier les signaux, et ajouter une alerte dans le poste de pilotage. Cela aurait nécessité une formation supplémentaire des pilotes. Par ailleurs, cela signifie aussi que si un des capteurs est défaillant, le système ne peut pas fonctionner. Cette conception augmente ainsi la probabilité de panne. Or un système en panne peut faire défaut à un pilote en vol, alors qu'il en a

---

<sup>10</sup> L'incidence (*angle of attack* ou AOA en anglais) est l'angle entre l'aile et le flux d'air venant en sens inverse. La force G est l'accélération du plan dans la direction verticale. Le système répond ainsi à la situation extrême et peu probable identifiée lors des tests en soufflerie : le besoin d'effectuer une manœuvre de *wind-up turn* avec cet avion de ligne.

<sup>11</sup> 3 secondes est le temps maximum qu'un pilote doit mettre pour comprendre ce qui se passe et le contrer selon les directives de la FAA.

<sup>12</sup> Au cours de sa première année de service, la flotte complète de 737 MAX a enregistré 118 000 heures de vol.

besoin ; ou la compagnie aérienne peut avoir à mettre l'avion hors service et perdre de l'argent. Ces possibilités plaident pour garder un système aussi simple que possible, ici connecter le système à un seul capteur. A noter que l'alarme visuelle *AOA Disagree Light*, indiquant que les deux sondes AOA de mesure d'incidence envoient des informations différentes, existe mais n'est proposée qu'en option payante, option qui n'équipait pas les deux avions accidentés.

Cependant, en 2016, pendant les essais en vol, Boeing est amené à modifier substantiellement le MCAS pour faire face à un autre problème qui se produit dans certaines conditions de vol à basse vitesse. Mais pour que le système puisse opérer aussi à basse altitude, les ingénieurs sont obligés d'augmenter la puissance du système (de 0,6 degré de déviation en piqué du stabilisateur à 2,5 degrés à chaque fois qu'il était activé). Par ailleurs, comme il n'y a pas de forces G excessives à basse vitesse, les ingénieurs suppriment le facteur G comme déclencheur. Le MCAS est désormais activé uniquement par un seul et unique capteur (l'un des deux sondes AOA), et non plus deux (une des sondes AOA + le capteur facteur G). Cela ne fait pas controverse puisque l'évaluation des dangers a déterminé qu'une défaillance du MCAS en vol normal entre dans la catégorie « majeure » - et non « dangereuse » ou « catastrophique ». De plus, une analyse conclut que les effets des pannes potentielles à basse vitesse seraient moindres. Ces changements n'entrent ainsi pas dans la documentation de l'évaluation révisée de la sécurité du système auprès de la FAA, puisque le système n'est pas considéré comme critique. Cependant, un élément est absent de l'analyse de sécurité : la possibilité que le MCAS puisse se déclencher à plusieurs reprises, comme cela a été le cas sur les deux vols accidentés - le MCAS s'est ainsi réactivé 22 fois de suite sur le vol Lion Air. Les pilotes sont alors obligés de lutter contre le système pour redresser très fréquemment l'avion, leur faisant perdre progressivement la maîtrise de l'appareil.

Lors des essais en vol, les pilotes procèdent à des examens en profondeur des systèmes qui pourraient causer toute sorte de défaillances. Ils ne s'attardent cependant pas sur le MCAS, et n'ont d'ailleurs que peu de détails sur la conception du système, par exemple l'entrée à capteur unique. L'échec d'incidence n'est testé qu'en simulateur. Mais, en 2016, Mark Forkner, un des pilotes d'essai rencontre des difficultés avec le MCAS sur le simulateur : « *il déraile dans le sim (...) c'était scandaleux* », écrit-il ainsi à un collègue. Ce à quoi ce dernier lui répond qu'il va falloir actualiser les instructions dans le manuel de vol. Après cet épisode cependant, ni lui ni Boeing n'en informeront la FAA, bien que les tests internes de Boeing aient révélé qu'il avait fallu plus de 10 secondes – au lieu de 3 – à un pilote d'essai pour diagnostiquer et répondre à l'activation non commandée du MCAS en simulateur, une condition "*catastrophique*". En 2018, Ed Pierson, ancien combattant de l'US Navy, qui occupe un poste de direction sur la ligne de production du 737 de 2015 à 2018 envoie par ailleurs un email au directeur général de la division 737, Scott Campbell, pour lui faire part de ses inquiétudes relatives au contrôle qualité et à la sécurité de l'avion du fait des pressions de production et de calendrier : « *Je sais à quel point le plus petit défaut peut être dangereux pour la sécurité de l'avion. Franchement, pour l'instant, toutes mes "alertes intérieures" sont en train de sonner* ». Campbell reçoit Pierson : "*Avec de tels problèmes de sécurité*", lui dit Pierson, "*l'armée suspendrait temporairement la production*". Campbell lui aurait répondu : "*L'armée est une organisation sans but lucratif*".

Avant l'accident indonésien, le MCAS n'est que vaguement compris par les experts en aviation hors de Boeing. Il n'est d'ailleurs mentionné qu'une seule fois dans le glossaire du manuel de l'avion de 1600 pages. Il n'est pas mentionné dans la formation des pilotes. Au moment du lancement, Boeing estimait en effet qu'une formation rapide de 56 minutes sur tablette suffirait pour préparer les pilotes à la conduite du Max, lorsqu'ils étaient déjà formés et certifiés sur 737. La formation réduite des pilotes est un argument de vente important dans un contexte où le passage dans des simulateurs de vol est chronophage (les simulateurs sont rares) et onéreux pour les compagnies aériennes (un coût d'environ 2000 \$ par pilote chez Southwest Airlines, par exemple).

La mise en cause du MCAS après le premier accident aurait dû changer la donne. Mais ce n'est qu'après avoir reçu des demandes de renseignements de la part des compagnies aériennes opérant le 737 Max que Boeing, le 10 novembre 2018, décrit le système dans un bulletin supplémentaire. La plupart des pilotes en entendent alors parler pour la première fois par leurs syndicats. Des informations sur le

MCAS sont également intégrées au manuel de vol entre les deux accidents. Elles ne permettront malheureusement pas aux pilotes du vol éthiopien d'empêcher l'accident.

### **La mise en cause de l'Agence Fédérale Américaine de l'Aviation (FAA)**

À la suite des crashes, la FAA, principal régulateur du transport aérien, est mise en cause. Comment en est-elle arrivée à valider le dispositif MCAS, le peu de formation des pilotes et, *in fine*, la mise en service des 737 Max ?

L'aviation commerciale aux États-Unis est pourtant considérée comme un modèle de sécurité, d'efficacité et d'innovation. Chaque jour, l'Organisation de la circulation aérienne (ATO) de la FAA supervise environ 44 000 vols et coordonne le voyage de 2,7 millions de passagers aériens. La charge de travail que représente la certification des avions par la FAA est tout aussi impressionnante : plus d'une dizaine de milliers de certifications sont délivrées entre 2013 et 2017. Ceci tout en surveillant le maintien de la sécurité opérationnelle de tous les aéronefs de conception américaine opérant dans le monde. Depuis 1996, des améliorations technologiques, en matière de formation, de procédures et de surveillance ont permis de réduire le taux de mortalité des transporteurs aériens de 80,9 pour 100 millions de passagers embarqués en 1996 à 0,6 pour 100 millions en 2019. La collaboration entre fabricants, régulateurs, spécialistes de la sécurité, équipages, contrôleurs aériens et équipes de maintenance est considérée par la FAA comme déterminante dans ces bons résultats.

La certification d'un nouvel avion demande généralement de 5 à 9 ans contre 3 à 5 ans pour la modification d'un modèle déjà certifié. Le 737 Max s'inscrit dans cette deuxième catégorie, ce qui lui impose d'avoir les « *mêmes caractéristiques de vol* », les « *même qualification de type du pilote, même assistance au sol, même programme de maintenance, mêmes simulateurs de vol, même fiabilité* » que les modèles précédents.<sup>13</sup> Pour les compagnies aériennes, cela permet d'éviter de renouveler les stocks de pièces de rechange et les certifications des pilotes. Demandée en janvier 2012, la certification du 737 MAX est accordée en mars 2017. Elle a nécessité 110 000 heures de travail à la FAA, suivant le processus de certification standard.

Dans le rapport d'enquête, la FAA est cependant vilipendée pour ses « *nombreuses lacunes en termes de supervision et de responsabilité* » et Boeing, montré du doigt pour « *la répétition inquiétante de mauvaises évaluations techniques et d'erreurs de jugement troublantes de la part de la direction* ». L'Agence semble avoir opéré en arrière-plan, surveillant les principaux progrès et se contentant de vérifier la paperasserie administrative. Les évaluateurs auraient pris leurs décisions en fonction des délais et du budget de l'avionneur. Certains dénoncent une forme de collusion passive. En cause, la procédure *Organization Designation Authorization*. Adoptée en 2005 sous la pression du lobby aéronautique sur fond de baisse du budget de la FAA, elle permet à Boeing de choisir les ingénieurs devant inspecter ses avions au nom de la FAA (la FAA conservant un droit de veto).

Sans cette délégation, la FAA aurait besoin de 10 000 employés et 1,8 milliard de dollars de plus pour accomplir sa mission. Cette façon de faire n'est pas si problématique, souligne-t-on à la FAA, puisque les États-Unis ont - ou plutôt avaient - rarement connu une aussi longue période sans tragédie aérienne : « *L'utilisation de la délégation est un élément essentiel de notre système de sécurité depuis les années 1920 et sans elle, le succès du système d'aviation de notre pays aurait probablement été étouffé* » explique-t-elle. Par ailleurs, les avions de ligne modernes sont des machines complexes, combinant une ingénierie de pointe avec des ordinateurs puissants qui exécutent des logiciels aux millions de lignes de code. Or, en 2016, la *National Air Traffic Controllers Association* a mis en garde contre la « *fuite des cerveaux* » de l'agence et son « *incapacité à embaucher et à retenir du personnel qualifié* » compte-tenu des salaires offerts, inférieurs à celui des grands avionneurs. La délégation permettrait à la FAA de se concentrer sur les tâches de contrôle. En 2018, la FAA a laissé Boeing certifier 96% de son propre travail. La relation était devenue si étroite, note *The Economist*, que les anciennes

---

<sup>13</sup> Federal Aviation Administration, "Airworthiness Certification," <https://bit.ly/2Zo0SEY>



affiches disant « *Ne parlez pas à la FAA* » avaient disparu du local des employés de Boeing et que les voix internes à la FAA qui rapportaient des problèmes de conception sur ces avions étaient sanctionnées plutôt qu'écoutées. Nicole Potter, ingénieure de la FAA, explique avoir dû plusieurs fois se battre pour garder la maîtrise d'étapes clés. Selon un ancien ingénieur de la FAA, les responsables de l'Agence « *n'ont pas mis suffisamment de freins et de contrepoids dans le système* » de délégation...

Une procédure d'homologation cavalière, reconnue comme telle aussi par les ingénieurs de Boeing : l'un d'eux conclut amèrement en parlant de Boeing et de la FAA : « *cet avion est conçu par des bouffons, qui en retour sont supervisés par des singes* ». « *Je n'ai toujours pas été pardonné par Dieu pour ce que j'ai dissimulé l'an dernier* » écrit un autre dans un message de 2018, en référence aux interactions avec le régulateur. Pour autant, à l'époque, ce n'est pas forcément la contrition qui domine. En août 2015, un autre encore écrivait : « *Je sais mais le régulateur n'a que ce qu'il mérite après avoir cherché à s'immiscer dans nos affaires. Il ralentit le progrès* ». Quand Mark Forkner s'aperçoit des difficultés liées au MCAS, il a lui-même 8 mois plus tôt plaidé auprès de la FAA pour ne pas le mentionner dans la formation aux pilotes : « *en gros, ça veut dire que j'ai menti aux régulateurs* » écrit-il à un collègue. Celui-ci lui répond « *ce n'était pas un mensonge. Personne ne nous avait dit que c'était comme ça.* ».

Le rapport d'investigation de la Commission des Transports du Congrès américain décrit ainsi un environnement dans lequel Boeing, ses sous-traitants, les compagnies aériennes clientes, les enquêteurs et les régulateurs sont chacun engagés dans des stratégies d'auto-préservation. Le partage d'informations est faible, nourrissant une ignorance sur les risques d'accident, notamment liés au MCAS. « *Les employés de la FAA ne se sont rendu compte qu'après l'accident de Lion Air fin octobre 2018 qu'ils ne connaissaient pas vraiment le fonctionnement du MCAS* » affirme une source gouvernementale à l'AFP. Les difficultés que pouvaient rencontrer les pilotes dans la reprise en main de l'avion avait été occultées, ou minorées. L'hypothèse étant que ceux-ci pouvaient être en mesure de le faire dans les 3 secondes n'avait que peu ou prou été challengée. La FAA n'ordonnera d'ailleurs pas tout de suite l'immobilisation des 737 max.

#### Sources :

- Adolph, C. (2019), SPEEA engineer breaks silence on Boeing's MAX 737. Read this letter. *KUOW*, July 5
- Biondi, F. (2019), Crash des Boeing: une approche centrée sur le pilote pourrait réduire les risques d'accident, *The Conversation*, 27 mars
- Campbell, D. (2019), The many human errors that brought down the Boeing 737 Max, *The Verge*, May 2
- Capital (2019), 737MAX : le régulateur aérien des Etats-Unis épinglé pour ses liens étroits avec Boeing, *Capital*, 17 Septembre
- Catchpole, D. (2020), "The forces behind Boeing's long descent," *Fortune*, January 21
- Charpentreau, C. (2019), Aviation authorities critical of FAA Boeing 737 MAX certification, *Aerotime*, September 17
- Cruz, B. S., & de Oliveira Dias, M. (2020). Crashed Boeing 737-max: Fatalities or Malpractice?. *GSI*, 8(1), 2615-2624.
- Desrosiers, Eric (2019), La FAA et Boeing, une histoire bien connue, *Le devoir*, 29 mars
- Dor, F. (2016), Retour sur l'incroyable histoire de Boeing qui fête ses 100 ans, *Les Échos*, 13 Juillet
- Escande, P. (2019), OMC : « Airbus et Boeing excellent dans l'interminable jeu de la barbichette », *Le Monde*, 3 octobre
- Gates, D. (2019), Flawed analysis, failed oversight: How Boeing, FAA certified the suspect 737 MAX flight control system, *The Seattle Times*, March 17 (updated March 19)
- Gates, D. & Baker, M. (2019), The inside story of MCAS: How Boeing's 737 MAX system gained power and lost safeguards, *The Seattle Times*, June 22
- Hatchuel, A. (2019), Boeing 737 MAX : le spectre de l'erreur de conception, *Le Monde*, 27 mars.
- Lomig, G. (2019), Boeing 737 Max : un mauvais management à l'origine des accidents ? *Capital*, 5 juin
- Herkert, J., Borenstein, J., & Miller, K. (2020). The Boeing 737 MAX: lessons for engineering ethics. *Science and engineering ethics*, 26(6), 2957-2974.
- Imberman, W. (2001). Why engineers strike--The Boeing story. *Business Horizons*, 44(6), 35-45.
- Johnsson, J., Beene, R. & Bloomer (2020), 'Designed by clowns...supervised by monkeys:' Internal Boeing messages slam 737 Max, *Fortune*, January, 10.
- Kitroeff, N., Gelles, D. & Nicas, J. (2019), The Roots of Boeing's 737 Max Crisis: A Regulator Relaxes Its Oversight, *The New York Times*, July 27
- Langewiesche, W. (2019), What Really Brought Down the Boeing 737 Max? *The New York Times Magazine*, September 18 (Updated Jan. 9, 2021).
- Le Monde avec AFP (2020), Défauts d'ingénierie et manque de supervision : Boeing et le régulateur américain blâmés pour les crashes du 737 MAX, *Le Monde*, 16 septembre
- Muellerleile, C. M. (2009). Financialization takes off at Boeing. *Journal of Economic Geography*, 9(5), 663-677.
- Olivier, C. (2019), Le logiciel de vol du 737 Max est défectueux, car Boeing a confié le travail à des ingénieurs payés 9 \$/h ?
- Oui, selon d'anciens employés du groupe. *Site Developpez.com*; <https://www.developpez.com/actu/267851/Le-logiciel-de-vol-du-737-Max-est-defectueux-car-Boeing-a-confie-le-travail-a-des-ingenieurs-payes-9-h-Oui-selon-d-anciens-employes-du-groupe/> (accès en ligne le 26/05/2021), 29 Juin
- Robinson, P. (2019), Boeing's 737 Max Software Outsourced to \$9-an-Hour Engineers, *Bloomberg*, June 28
- Time (1980) Masters of the air: Boeing captures the cruise missile contract and dominates world aviation. *Time*, 7 April, 52–58.
- Tkacik, M. (2019) "Crash Course: How Boeing's Managerial Revolution Created the 737 MAX Disaster," *The New Republic*, September 18, <https://bit.ly/3eu14qn>, accessed April 2020.
- Trévidic, B. (2019), Airbus ne profite guère des malheurs de Boeing, *Les Échos*, 16 décembre
- Useem, J. (2000) Boeing vs. Boeing. *Fortune*, 2 October, vol. 142.
- Useem J. (2019), "The Long-Forgotten Flight That Sent Boeing Off Course," *The Atlantic*, November 20.
- The House Committee on Transportation & Infrastructure (2020), The Boeing 737 MAX Aircraft: Costs, Consequences, and Lessons from its Design, Development, and Certification - Preliminary Investigative Findings, March.
- <http://www.boeing.com/commercial/737max/>;
- [https://www.faa.gov/aircraft/air\\_cert/airworthiness\\_certification/](https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/airworthiness_certification/);