

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

**RETARDS DANS LE PROJET DE NOUVEAUX AÉRONEFS PAR LES
CONSTRUCTEURS AÉRONAUTIQUES, CAUSES ET CONSÉQUENCES**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA
MAÎTRISE EN GESTION DE PROJET**

**PAR
ROBINSON MARIANO DA SILVA**

FÉVRIER 2021

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

SOMMAIRE

Depuis son origine, l'industrie aéronautique a été marquée par de grandes avancées technologiques, un avion est un produit avec plusieurs technologies embarquées qui ont permis l'amélioration des performances et de la sécurité des avions. Depuis les années 1980, l'industrie est en processus de consolidation, résultant de fusions ou de faillites de fabricants. La demande croissante de nouveaux aéronefs suscite l'intérêt de plusieurs gouvernements à travers le monde, pour le développement d'une industrie dans leur pays, par l'octroi d'incitations financières, souvent dans les subventions, ce qui provoquent des réactions de la part des gouvernements qui ont déjà une industrie consolidée.

Au cours des 20 dernières années, nous avons envisagé le lancement de plusieurs nouveaux avions, certains avec succès et d'autres qui ont présenté des retards qui ont eu des répercussions négatives sur les constructeurs. Ces retards ont éveillé la curiosité de plusieurs chercheurs qui les ont étudiés afin de comprendre ce qui s'était passé, mais aucune étude n'a envisagé plus de deux projets. Grâce à ce diagnostic, nous plongeons dans la recherche pour découvrir, entendre et comprendre quelles sont les causes et les conséquences que les retards ont causées aux constructeurs et ainsi fournir un rapport.

Au fur et à mesure que l'étude progressait, des incongruités ont été constatées à divers niveaux de la chaîne aéronautique, ce qui a causé des retards. Les incongruités ont été rassemblées dans les hypothèses. Même dans les constructeurs expérimentés, c'est l'anachronisme comportemental qui a mené aux erreurs. Dans certains cas, le nœud des retards a été caché et ce n'est qu'après une enquête approfondie qu'il a été possible de détecter un changement culturel où la financiarisation a joué un rôle majeur dans les retards. L'objectif principal du travail est de signaler que le retard dans le projet d'un nouvel aéronef n'est pas un problème, mais un symptôme d'un problème chez les constructeurs.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	i
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
REMERCIEMENTS	x
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 - PROBLÈME GÉNÉRAL	6
1.1 ÉVOLUTION ET CARACTÉRISTIQUES DE LA STRUCTURE DE LA CHAÎNE AÉRONAUTIQUE.....	6
1.2 LES QUESTIONS DE RECHERCHE	21
1.3 PROBLÈME SPÉCIFIQUE.....	23
1.4 LOCALISATION.....	25
CHAPITRE 2 - CONTEXTE THÉORIQUE	27
2.1 CONTRATS	28
2.2 ERREUR DE CONCEPTION DE PROJET ET ÉCHEC DANS LE PROCESSUS DÉCISIONNEL.....	31
2.3 MANQUE DE CONNAISSANCE ET MATURITÉ DES PROJETS	39
2.4 GESTION DE LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT	44
CHAPITRE 3 - ÉTUDE DES RETARDS D'AÉRONEFS	52
3.1 RETARDS DU PROJET SPACEJET M90.....	52
3.1.1 Premier retard	53
3.1.2 Deuxième retard	54
3.1.3 Troisième retard.....	57
3.1.4 Quatrième retard.....	59
3.1.5 Cinquième retard	63
3.1.6 Sixième retard	65
3.1.7 Implications du retard de SpaceJet M90	68
3.2 RETARDS DU PROJET COMAC C919	86
3.2.1 Premier retard	90
3.2.2 Deuxième retard	91

3.2.3 Troisième retard.....	92
3.2.4 Quatrième retard.....	94
3.2.5 Implications du retard de Comac C919	95
3.3 RETARDS DU PROJET BOEING 787 DREAMLINER	108
3.3.1 Premier retard	119
3.3.2 Deuxième retard	121
3.3.3 Troisième retard	123
3.3.4 Quatrième retard.....	124
3.3.5 Cinquième retard	125
3.3.6 Sixième retard	126
3.3.7 Septième retard	128
3.3.8 Huitième retard	128
3.3.10 Analyse des retards du Boeing 787 Dreamliner.....	134
3.3.11 Implications du retard de Boeing 787 Dreamliner.....	139
3.3.12 Analyse des rapports financiers de Boeing.....	148
3.4 RETARDS DU PROJET AIRBUS A380	168
3.4.1 Premier retard	173
3.4.2 Deuxième retard	176
3.4.3 Troisième retard.....	177
3.4.4 Problèmes postérieurs à la livraison	179
3.4.5 Analyse des retards du Airbus A380.....	181
3.4.6 Analyse des rapports financiers d'Airbus	191
CHAPITRE 4 - RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	199
4.1 HYPOTHÈSE 1 : PROBLÈME DES CONTRATS	206
4.2 HYPOTHÈSE 2 : ERREUR DE CONCEPTION DE PROJET ET ÉCHEC DANS LE PROCESSUS DÉCISIONNEL	208
4.3 HYPOTHÈSE 3 : MANQUE DE CONNAISSANCES ET MATURITÉ DES PROJETS.....	213
4.4 HYPOTHÈSE 4 : DÉFAILLANCES OU ABSENCE DE COORDINATION DE LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT AÉRONAUTIQUE.....	218

4.5 ANALYSE DES CAUSES DES RETARDS DANS LES PROJETS AÉRONAUTIQUES	224
4.6 RÉPONSE AUX QUESTIONS DE RECHERCHE.....	236
CONCLUSION	238
RÉFÉRENCES	243

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Relation des fabricants d'avions.....	4
Tableau 2 - Évolution du processus de production de Embraer	10
Tableau 3 - Évolution consommation de carburant par siège kilomètre.....	12
Tableau 4 - La Chaîne d'Approvisionnement Aéronautique	17
Tableau 5 - Retard dans la livraison des premiers aéronefs par les OEMs.....	20
Tableau 6 - Diagramme du début du test en vol et de la livraison du premier avion	69
Tableau 7 - Retards au début des vols d'essai et de la livraison du premier avion du SpaceJet M90	70
Tableau 8 - Quantité d'aéronefs et d'heures de test d'essai du Embraer E175-E2 et Mitsubishi SpaceJet M90	72
Tableau 9 - Portefeuille de commandes Mitsubishi SpaceJet M90 et M100.....	81
Tableau 10 - Portefeuille de commandes Comac C919.....	97
Tableau 11 - Composition de la flotte mondiale par classes d'avions et zones géographiques	101
Tableau 12 - Délai entre la réalisation du premier vol et la livraison du premier 787...	145
Tableau 13 - Tableau des données et indicateurs financiers du 787	150
Tableau 14 - Retard dans la livraison du premier A380	183
Tableau 15 - Portefeuille de commandes Airbus A380	185
Tableau 16 - A380 livré par zone géographique et nombre d'appareils retirés.....	187
Tableau 17 - Tableau des données financières du A380.....	195
Tableau 18 - Tableau de corrélation des retards avec les hypothèses.....	201
Tableau 19 - Lien entre les retards et les causes de leur apparition.....	202
Tableau 20 - Tableau de lancement et de fermeture de la production d'avions	227

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Concentration de l'industrie aéronautique commerciale	15
Figure 2 - Répartition géographique des constructeurs d'aéronefs commerciale	16
Figure 3 - Intégration de la Chaîne d'Approvisionnement Aéronautique	19
Figure 4 - Agents du Secteur Aéronautique	24
Figure 5 - Classement des erreurs selon Reason	32
Figure 6 - Erreurs latentes selon Reason	34
Figure 7 - Processus d'erreur d'équipe	35
Figure 8 - Modèle de maturité selon PMI	41
Figure 9 - Niveaux de maturité selon CMMI	41
Figure 10 - Retards du premier vol et de la première livraison prévue du SpaceJet M90	70
Figure 11 - Comparaison entre les dépenses en capital de division d'Aéronefs, Défense & Espace contre le ratio de marge opérationnel de MHI	75
Figure 12 - Données financières et non financières MHI 2018	77
Figure 13 - Évolution du coût de développement et pourcentage d'augmentation du SpaceJet M90	78
Figure 14 - Estimation du coût du développement des aéronefs	79
Figure 15 - Estimation du coût de développement par PAX	80
Figure 16 - Modifications et mises à jour apportées à la SpaceJet M90	85
Figure 17 - Fournisseurs de Comac C919	88
Figure 18 - Prévision de demande mondiale d'aéronefs 2019-2029	100
Figure 19 - Prévision de demande mondiale d'aéronefs 2020-2031	102
Figure 20 - Production et livraisons des aéronefs, 2018-2030	103
Figure 21 - Matériaux utilisés dans le corps 787	115
Figure 22 - Structure de la chaîne d'approvisionnement du 787	118
Figure 23 - Estimation du coût du développement des avions (considérant le coût réel du 787)	140

Figure 24 - Estimation du coût de développement par PAX (considérant le coût réel du 787)	141
Figure 25 - Retards du premier essai en vol et de la première livraison d'aéronefs du 787 Dreamliner.....	144
Figure 26 - Comparaison entre les profits du tableau 13	151
Figure 27 - Profit par avion dans l'inventaire avec la variation en pourcentage	152
Figure 28 - Revenu total et moyen de Boeing entre 1978 et 2020-1S	158
Figure 29 - Marge du bénéfice opérationnel sur les revenus	159
Figure 30 - Dépenses en R&D sur le revenu.....	160
Figure 31 - Histogramme de rachat d'actions ordinaires	161
Figure 32 - Dividendes payés sur le revenu	163
Figure 33 - Pourcentage de participation aux dividendes payés et rachat d'actions sur le revenu.....	165
Figure 34 - Performance des actions Boeing de 2004 à 2010.....	166
Figure 35 - Structure de construction des sections structurelles de l'Airbus A380.....	171
Figure 36 - Séquence logistique géographique de l'A380.....	172
Figure 37 - Chaîne d'approvisionnement Airbus A380.....	173
Figure 38 - Estimation du coût du développement des avions (considérant le coût réel du A380)	182
Figure 39 - Estimation du coût de développement par PAX (considérant le coût réel du A380)	183
Figure 40 - Retards de la première livraison d'aéronefs de l'A380.....	184
Figure 41 - Bénéfice d'exploitation de la division des avions commerciaux d'Airbus.....	192
Figure 42 - Corrélation entre les hypothèses et les causes des retards.....	203
Figure 43 - Causes des retards	205
Figure 44 - Modèle SRK de Rasmussen	210
Figure 45 - Interaction entre le modèle SRK de Rasmussen et le système générique de modélisation des erreurs de Reason	211
Figure 46 - Cause fondamentale de la rupture de stock.....	221
Figure 47 - Cycle de vie d'un nouveau programme d'avion.....	226

LISTE D'ABRÉVIATIONS

PIB	Produit Intérieur Brut	
Embraer	Empresa Brasileira de Aeronáutica	Société aéronautique brésilienne
IATA	International Air Transport Association	Association internationale du transport aérien
OEM	Original Equipment Manufacturer	Fabricant d'équipement d'origine
SC	Supply Chain	Chaîne d'approvisionnement
SCM	Supply Chain Management	Gestion de la chaîne d'approvisionnement
LSSI	Large Scale Systems Integrator	Intégrateur de systèmes à grande échelle
BFC	Better, faster et cheaper	Mieux, plus vite et moins cher
MRJ	Mitsubishi Regional Jet	Mitsubishi jet régional
ANA	All Nippon Airways	
PMI	Project Management Institute	Institut de gestion de projet
FAA	Federal Aviation Administration	Administration fédérale de l'aviation
EASA	European Union Aviation Safety Agency	Agence européenne de la sécurité aérienne
MRO	Maintenance, Repair and Operations	Organisation d'entretien et de réparation
PBS	Performance Based Services	Services basés sur la performance
AIM	Aviation Institute Management	Institut de gestion de l'aviation
TWA	Trans World Airline	Compagnie aérienne Trans World
MAC	Mitsubishi Aircraft Corporation	Mitsubishi société aéronautique
MHI	Mitsubishi Heavy Industries	
OPM3	Organizational Project Management Maturity Model	Modèle organisationnel de maturité de la gestion de projet
PMMI	Project Management Maturity Integration	Intégration de la maturité de la gestion de projet
CMM	Capability Maturity Model	Modèle de maturité des capacités
CMMI	Capability Maturity Model Integration	Modèle d'intégration de maturité des capacités
TI	Technologies de l'information	
SCRM	Supply Chain Risk Management	Gestion des risques de la chaîne d'approvisionnement
NAMC	Nihon Aircraft Manufacturing Corporation	Nihon corporation de fabrication d'aéronefs
JCAB	Japan Civil Aviation Bureau	Bureau de l'aviation civile du Japon
ODA	Organization Designation Authorization	Programme d'autorisation de désignation d'organisation
PDG	Président-Directeur General	
PMBOK	Project Management Body of Knowledge	Guide du corpus des connaissances en gestion de projet
NTSB	National Transport Safety Board	Bureau national de la sécurité des transports
EF	Exercice fiscal	
ILS	Instrument Landing System	Système d'atterrissage aux instruments
R&D	Recherche et développement	
PAX	Number of Passengers Carried	Nombre de passagers transportés
MoU	Memorandum of Understanding	Mémoire d'entente
TSA	Trans States Airlines	
Comac	Commercial Aircraft Corporation of China	Corporation de l'aviation commerciale de Chine

MD	McDonnell Douglas	
CNN	Cable News Network	
GEA	General Electric Aviation	
CNBC	Consumer News and Business Channel	
CAAC	Civil Aviation Administration of China	Administration de l'aviation civile de Chine
IATA	International Air Transport Association	Association internationale du transport aérien
URSS	Union des républiques socialistes soviétiques	
IPD	Integrated Product Development	Développement intégré des produits
AIT	Advanced Integration Technology	
TOL	Temporary Operation Limitation	Limitation des opérations temporaires
JAL	Japan Airlines	
AAIB	Britain's Air Accidents Investigation Branch	Branche britannique d'enquête sur les accidents aériens
PIC	Production Integration Center	Ventre d'intégration de la production
CFO	Chief Financial Officer	Dirigeant principal des finances
COO	Chief Operating Officer	Directeur de l'exploitation
CASA	Construcciones Aeronáuticas SA	
GIE	Groupement d'intérêt économique	
VLCT	Very Large Commercial Transport	Très grand transport commercial
EADS	European Aeronautic Defense and Space Company	Société européenne de défense aéronautique et spatiale
OMC	Organisation mondiale du commerce	
CAD	Computer Aided Design	Conception assistée pour ordinateur
ATSB	Australian Transport Safety Bureau	Bureau australien de la sécurité des transports
BEA	Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile	
TSB	Transport Safety Board of Canada	Bureau de sécurité des transports du Canada
SRK	Skills, Rules and Knowledge	Compétences, règles et connaissance
OACI	International Civil Aviation Organization	Organisation de l'aviation civile internationale
ETOPS	Extended-Range Twin-Engine Operational Performance Standards	Normes de rendement pour le fonctionnement des bimoteurs à longue portée
LARG	Lean, Agile, Resilient and Green	Lean, agile, résilient et vert
KPI	Key Performance Indicator	Indicateur clé de performance
GE	General Electric	
AVIC	Aviation Industry Corporation of China	Société de l'industrie aéronautique de Chine
Chalco	Aluminum Corporation of China	Société d'aluminium de Chine
Baowu	Baosteel Group Corporation	
SASAC	State-owned Assets Supervision and Administration Commission	Commission chinoise d'administration et de supervision des actifs publics
IFRS	International Financial Reporting Standards	Normes internationales d'information financière

REMERCIEMENTS

Au début d'une marche, l'être humain ne peut jamais déterminer s'il atteindra ses objectifs ; sur marche route, il y a des chances qu'il ait des chutes, mais une grande vertu est le courage de se relever et de recommencer, de ne jamais abandonner.

Cependant, à la fin d'un voyage, il n'y a aucun plaisir dans le monde qui puisse être comparé à ce moment. Toutes les difficultés sont oubliées, même momentanément, et après l'euphorie, de nouveaux buts, de nouveaux objectifs sont tracés et l'être humain reprend son chemin.

Tout d'abord, je voudrais remercier Dieu, la source créatrice de l'univers, à qui nous devons tout. La spiritualité qui agit selon les desseins de Notre Créateur.

Je remercie tout particulièrement le professeur Darli Vieira pour ses encouragements constants, son accompagnement et ses précieux conseils dans ce projet. Je remercie également le Professeur Christophe Bredillet pour les discussions et les contributions en termes de méthodologie adoptée dans ce travail.

Merci à mes collègues Paulo, Dreyfus et Marcela pour les précieux conseils qu'ils m'ont donnés.

À mon épouse Viviane pour l'amour, la motivation et la complicité qui m'ont rendu fort dans les moments les plus difficiles. À mes filles, Letícia et Gabriela pour la compréhension, l'encouragement et la patience pendant le processus.

Enfin, à mes parents, frères, sœur et d'autres membres de la famille qui ont toujours fait confiance à mes plans.

INTRODUCTION

L'industrie aéronautique se caractérise par une forte valeur ajoutée dans ses produits et services résultant du contenu technologique élevé utilisé dans ses produits. Les produits aéronautiques sont généralement décrits comme complexes, dans la mesure où ils comprennent de nombreux composants interconnectés liés à diverses technologies. (Acha *et al.*, 2007 et Rebolledo et Nollet, 2011, cité dans Cagli, Kechidi et Levy, 2012).¹ Un aéronef est en effet une combinaison de systèmes interdépendants complexes composés d'éléments interdépendants configurés pour remplir une fonction spécifique (Cagli *et al.*, 2012). L'industrie aérospatiale comprend les segments civil, militaire et spatial. L'aviation civile est subdivisée en transport aérien, qui couvre le transport de passagers et de fret et l'aviation générale (exécutive, sportive, agricole et expérimentale). Dans l'aviation de transport aérien, nous avons des avions propulsés par des moteurs à réaction (A-320, 737, E195) et des avions turbopropulseurs (ATR 72, EMB-120, Dash 8-400). L'objet de l'étude de ces travaux sera centré sur l'aviation civile du transport de passagers d'avions à réaction, auquel nous ferons référence en tant qu'aviation commerciale.

Les fabricants de ce segment (comme le montre le tableau 1 - pages 4 et 5) sont des sociétés privées, dont certaines bénéficient d'une participation minoritaire ou majoritaire des gouvernements où ils sont établis et situées dans dix pays (qui concentrent plus de 95 % de la fabrication d'avions à réaction civile : États-Unis, France, Royaume-Uni, Italie, Allemagne, Japon, Russie, Chine, Brésil et Canada), où les services, la recherche, le développement, la fabrication et la commercialisation des aéronefs sont effectués. La plupart des fabricants de ces pays produisent des avions civils et militaires et une technologie utilisée pour les produits militaires peut être employée dans des

¹ Cagli, A., Kechidi, M., Levy, R., (2012). Complex product and supplier interfaces in aeronautics. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 23(6), 717–732. <https://doi.org/10.1108/17410381211253308>

produits civils, de sorte que le secteur aéronautique est inséré dans un segment industriel plus grand qu'est l'industrie aérospatiale.

En 2016 l'Industrie Mondiale de l'aviation [englobant les constructeurs d'aéronefs, leurs fournisseurs, les compagnies aériennes, les sociétés de construction civile (aéroports), les fournisseurs de services (carburant, alimentation, services aéroportuaires, etc.)] a contribué 3,6 % du produit intérieur brut mondial (PIB), soit environ US\$ 2,7 trillions et avec 65,5 millions des personnes travaillant directement et indirectement dans l'aviation mondiale. Par rapport à la contribution du PIB d'autres secteurs, l'industrie du transport aérien mondial est plus grande que l'industrie automobile, ce qui représente 1,2 % du PIB mondial et l'industrie chimique (2,1 %). Il est plus de la moitié de la taille de l'industrie mondiale des services financiers qui représente 6,2 % du PIB.²

Le secteur du tourisme d'avant la pandémie du Covid-19 deviendrait bientôt la plus grande industrie du monde, en 2015, 57 % des touristes internationaux effectuent leurs voyages par avion. En 2018, 4,4 milliards des personnes ont été transportés par des compagnies aériennes, ces chiffres témoignent de l'importance du secteur d'aviation commerciale pour l'économie mondiale (Aviation Benefits Beyond Borders, 2018).

La crise économique provoquée par la pandémie du Covid-19, qui a durement affecté les voyages aériens, imposant des mesures sanitaires qui ont entraîné la fermeture des frontières et a forcé les compagnies aériennes à annuler leurs vols et à garer leurs avions. Dans ce contexte, les compagnies aériennes ont procédé à des milliers de mises à pied, retiré d'anciens avions, annulé ou renégocié la livraison de nouveaux avions et, dans certains cas, ont reçu une aide financière de divers gouvernements mondiaux. Même avec l'application de ces mesures, certaines entreprises ont demandé des concordats ou des demandes de recouvrement judiciaire.

² Aviation Benefits Beyond Borders (2018, octobre). Powering global economic growth, employment, trade links, tourism and support for sustainable development through air transport. *ATAG*. https://aviationbenefits.org/media/166344/abbb18_full-report_web.pdf

Ce contexte négatif a directement affecté les constructeurs, qui en raison de la baisse de la demande de nouveaux avions ont réduit la production, qui a donné lieu à des plans de licenciement (Airbus 14 000, Boeing 16 000, Embraer 2 500 emplois) et à la réception d'un soutien financier.

En août 2020, Boeing et Airbus ont livré 13 et 39 avions commerciaux, de janvier à août 2020, le cumul est de 284 avions pour Airbus et 87 pour Boeing. La grande différence de livraison d'avions entre les deux concurrents est due à la suspension des livraisons et à l'échec des 737 MAX effectué en mars 2019, en raison de deux accidents aériens.³ Le 27 juillet 2020, Boeing possédait 423 unités MAX fabriquées et non livrées aux clients.⁴ Pour mieux comprendre l'impact du coronavirus dans l'industrie aéronautique en 2018 et 2019, Airbus a livré 800 et 863 appareils, respectivement et Boeing 380 et 806. Ainsi, nous avons constaté que la suspension des livraisons des 737 MAX est désastreuse pour Boeing.

Cette nouvelle conjoncture est la plus grande adversité à laquelle l'économie mondiale est confrontée depuis le krach de la Bourse de New York en 1929, mais sans parallèle, parce que l'économie mondiale est beaucoup plus intégrée et interdépendante qu'il y a 90 ans. À travers cette réalité, le secteur aéronautique est contraint de s'adapter à ce panorama qui pourrait perdurer pendant quelques années.

Dans le tableau 1, nous trouvons les fabricants actuels d'avions civils à réaction ainsi que les modèles fabriqués, la capacité des passagers, l'autonomie de vol et le moteur utilisé (fabricant et modèle).

³ Oestergaard, J. K. (2020, 14 septembre). Airbus and Boeing Report August 2020 Commercial Aircraft Orders and Deliveries. Defense & Security Monitor. <https://dsm.forecastinternational.com/wordpress/2020/09/14/airbus-and-boeing-report-august-2020-commercial-aircraft-orders-and-deliveries/>

⁴ Hemmerdinger, J. (2020, 27 juillet). Airbus' and Boeing's undelivered jet inventories swell amid pandemic. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/airframers/airbus-and-boeings-undelivered-jet-inventories-swell-amid-pandemic/139499.article?adredir=1>

Tableau 1 - Relation des fabricants d'avions

Fabricant	Pays	Modèle	Passagers	Autonomie (km)	Fabricant	
					Moteur	Modèle
Airbus	Europe	A220-100	100-120	6390	Pratt & Whitney	PW1500G
		A220-300	120-150	6297	Pratt & Whitney	PW1500G
		A318	90-110	5750	Pratt & Whitney	PW600
		A319neo	120-150	6850	CFM International	LEAP1A
					Pratt & Whitney	PW1100G
		A319ceo	110-156	6950	CFM International	LEAP1A
					Pratt & Whitney	PW1100G
		A320neo	150-180	6300	CFM International	LEAP1A
					Pratt & Whitney	PW1100G
		A321neo	180-220	7400	CFM International	LEAP1A
					Pratt & Whitney	PW1100G
		A330-200	210-250	13450	General Electric	--
		A330-300	250-290	11750	General Electric	--
		A330-800neo	220-260	15094	Rolls-Royce	Trent 7000
		A330-900neo	260-300	13334	Rolls-Royce	Trent 7000
A350-900	300-350	15000	Rolls-Royce	Trent XWB		
A350-1000	350-410	16100	Rolls-Royce	Trent XWB		
A380	400-550	14800	Rolls-Royce	Trent 900		
			General Electric	GP7200		
Boeing	États-Unis d'Amérique	737-700 NG	126-149	6380	CFM International	CFM-56
		737-800 NG	162-189	5710	CFM International	CFM-56
		737-900 NG	178-220	5990	CFM International	CFM-56
		737 MAX 7	138-153	7130	CFM International	LEAP1B
		737 MAX 8	162-178	6570	CFM International	LEAP1B
		737 MAX 9	178-193	6570	CFM International	LEAP1B
		737 MAX 10	188-204	6110	CFM International	LEAP1B
		747-8	410	14310	General Electric	Genx-2B
		777-200LR	317	15843	General Electric	GE90-115BL
		777-300ER	396	13649	General Electric	GE90-115BL
		777X-8	384	16170	General Electric	GE9X
		777X-9	426	13500	General Electric	GE9X
		787-8	248	13530	General Electric	GENx-1B
					Rolls-Royce	Trent 1000
		787-9	296	13950	General Electric	GENx-1B
Rolls-Royce	Trent 1000					
787-10	336	11750	General Electric	GENx-1B		
			Rolls-Royce	Trent 1000		
Comac	Chine	ARJ21-700	78-90	3700	General Electric	CF34-10A
		C919	158-168	5555	CFM International	LEAP1C
		CRAIC CR929	250-320	12000	--	--

Fabricant	Pays	Modèle	Passagers	Autonomie (km)	Fabricant	
					Moteur	Modèle
Embraer	Brésil	ERJ135	30-37	3243	Rolls-Royce	AE3007
		ERJ140	44	3058	Rolls-Royce	AE3007
		ERJ145	50	2873	Rolls-Royce	AE3007
		ERJ145XR	50	3706	Rolls-Royce	AE3007A1
		E170	66-78	3982	General Electric	CF34-8E
		E175	76-88	4074	General Electric	CF34-8E
		E190	96-114	4537	General Electric	CF34-8E-10
		E195	100-124	4260	General Electric	CF34-10E
		E175-E2	80-90	3815	Pratt & Whitney	PW1715G
		E190-E2	97-114	5278	Pratt & Whitney	PW1919G
		E195-E2	120-146	4815	Pratt & Whitney	PW1921G
Mitsubishi Canada	Canada	CRJ900	76-90	2876	General Electric	CF34-8C5
Mitsubishi	Japon	Spacejet M100	70-88	3540	Pratt & Whitney	PW1217G
		Spacejet M90	76-92	3770	Pratt & Whitney	PW1217G
Antonov	Ukraine	AN-148-201	79-89	1200	Aviadvigatel	D-436-148
		AN-148-200B	79-89	2600	Aviadvigatel	D-436-148
		AN-148-200E	79-89	3500	Aviadvigatel	D-436-148
		AN-158-100	89-99	2600	Aviadvigatel	D-436-148
Tupolev (UAC) ³	Russie	Tu-204-100E	172-190	4300	Aviadvigatel	PS-90A
		Tu-204-120	172-190	4100	Rolls-Royce	RB211
		Tu-204SM	176-215	4200	Aviadvigatel	PS-90A2
		Tu-214	180-210	4340	Aviadvigatel	PS-90A
Ilyushin (UAC)	Russie	Il-96-300	237-300	9800	Aviadvigatel	PS-90A
Irkut (UAC)	Russie	MC-21-200	132-165	6400	Pratt & Whitney	PW1428G
					UEC	PD-14
		MC-21-300	163-211	6000	Pratt & Whitney	PW1431G
					UEC	PD-14
Sukhoi (UAC)	Russie	SSJ100	87-98	2960	PowerJet	SaM146 S17
		SSJ100-LR	98-108	4320	PowerJet	SaM146 S18

³ United Aircraft Corporation (UAC), soit la compagnie aéronautique unifiée, est un consortium créé en février 2006 et rassemblant les principaux avionneurs civils et militaires de Russie : Sukhoi, Mikoyan (MiG), Tupolev, Ilyushin, Yakovlev, Beriev et Irkut.

CHAPITRE 1 - PROBLÈME GÉNÉRAL

1.1 ÉVOLUTION ET CARACTÉRISTIQUES DE LA STRUCTURE DE LA CHAÎNE AÉRONAUTIQUE

Comme l'industrie automobile, l'industrie aéronautique au cours de son processus évolutif industriel, a opté pour externaliser une partie de la fabrication de composants d'aéronef, donc, la création, l'amélioration et la fabrication de plusieurs des composants ont été externalisés. Au cours des 20 dernières années, les fabricants ont reconnu la contribution précieuse des fournisseurs au développement de nouveaux produits et les invités à concevoir ensemble (Clark et Fujimoto, 1991, cité dans Ferreira, Salerno et Lourenção, 2011).⁶ Selon Hätönen et Eriksson, (2009), l'externalisation a évolué en 3 phases (périodes) :

1. L'ère du Big Bang : Les entreprises sous-traitaient des processus d'affaires non essentiels visant surtout à réduire les coûts d'exploitation. L'externalisation est utilisée comme un outil pour rendre les organisations économiquement plus efficaces pour maximiser les profits. L'externalisation se faisait principalement sur le marché intérieur (national) ;
2. L'ère Bandwagon : En raison d'expériences positives dans les premiers cas d'externalisation, au début des années 1990, les entreprises ont externalisé des fonctions qui n'étaient pas dans leur domaine d'expertise, les organisations cherchaient des habilités, des compétences et des connaissances extérieures pour agréger aux processus organisationnels les plus complexes et stratégiquement importants. Le résultat de ce processus a été l'émergence de relations plus étroites avec les fournisseurs, c'est-à-dire la mise en place d'alliances stratégiques. L'idéologie de gestion a commencé à se

⁶ Ferreira, V. L., Salerno, M. S. et Lourenção, P. T. M., (2011). The strategic relationship with suppliers: Embraer case study. *Revista Gestão & Produção*, São Carlos, v. 18, n. 12, p. 221-236. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2011000200001>

concentrer sûr : « mettre l'accent sur ses compétences essentielles et sous-traiter le reste » Porter (1996). Dans cette phase, l'externalisation s'est internationalisée ;

3. L'ère des organisations sans barrières : Aussi connu comme externalisation transformationnelle. À ce stade, certaines entreprises ont constaté que l'adoption de l'externalisation était déjà une norme et non une exception. Ainsi, l'externalisation commence à être utilisée dans la génération de nouveaux modèles d'affaires radicaux qui permettent de créer des avantages compétitifs et de changer les règles du jeu dans leurs industries. Cette nouvelle phase rend l'entreprise adaptative aux exigences de son environnement, à savoir, transformer les entreprises en formes organisationnelles flexibles.

Les fournisseurs sont considérés comme des participants intégraux dans l'effort de développement de produits multi-organisationnel (Hong, Pearson et Carr, 2009). Cela est mentionné dans la littérature comme le développement de produits intégrés avec les fournisseurs (Petersen, Handfield et Ragatz, 2003 ; Monczka, Handfield et Ragatz, 2000), le développement de produits collaboratifs (Labro, 2006), co-développement (Appleyard, 2003 ; Mouches et Becker, 2006) ou de conception participative avec des fournisseurs (O'Sullivan, 2006). Cette tendance est la réponse aux pressions des constructeurs visant à réduire les délais de développement des produits et à réduire la charge de travail en ingénierie (Carbone, 2002).⁷

Selon Hong *et al.* (2009) dans le développement de nouveaux produits, les besoins du marché sont transformés en un produit réel grâce à un processus cumulatif d'échange d'informations, de prise de décision et de résolution de problèmes entre le fabricant et plusieurs fournisseurs. Conformément Rozenfeld *et al.*, (2006, cité dans Ferreira *et al.*, 2011), le processus de développement des produits est essentiel pour les entreprises, car

⁷ Hong, Y., Pearson, J. N. et Carr, A. S. (2009). A typology of coordination strategy in multi-organizational product development. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 29 Issue: 10, pp.1000-1024. <https://doi.org/10.1108/01443570910993465>

au début, le degré d'incertitude est élevé, mais c'est à ce moment que les choix des solutions de projet détermineront environ 85 % du coût final de produit. De cette façon, le partenariat, la confiance et la coopération entre les entreprises (fabricateur des avions et fournisseurs) sont de fondamentale importance pour le développement des articles et services en un projet de construction des avions.

Phall, Farruck et Probert (2004, cité dans Ferreira *et al.*, 2011) proposent un type de *roadmapping*⁸ technologique pour le support au développement des produits et des affaires, cherchant à intégrer trois piliers : technologie alignée avec le développement de produits, stratégie des affaires et opportunités de marché. Ferreira *et al.*, (2011), rapportent que la conception des nouveaux produits devrait également être liée au concept d'innovation, pour obtenir des avantages comparatifs.

Plusieurs auteurs considèrent la confiance comme un attribut très important pour comprendre le partenariat entre les entreprises. Chen (2004, cité dans Ferreira *et al.*, 2011) suggère que la confiance a un effet pertinent et positif sur le transfert de technologie entre partenaires, dans ce qui est corroboré par la recherche de Squire, Cousins et Brown (2009, cité dans Ferreira *et al.*, 2011) en 104 entreprises, que suggèrent que la relation est mesurée par le niveau de confiance et de performance du fournisseur.

Selon Esposito (2004), le succès de la plupart des entreprises de l'industrie aéronautique découle de l'existence d'un réseau complexe de relations stratégiques et opérationnelles à long terme, impliquant simultanément la collaboration et la concurrence, qu'influencent la variété et la qualité des produits conçus.⁹ Pour Klotzle (2002), les entreprises utiliseraient des alliances stratégiques pour accéder à des ressources précieuses

⁸ *Roadmapping* - Méthodologie visuelle et descriptive qui indique comment un produit ou un projet spécifique sera à chaque période de son développement, c'est-à-dire qu'elle présente le moyen pour la société de laisser un point A (sans produit ou projet) au point B (avec celui-ci) produit ou projet prêt.

⁹ Esposito, E. (2004). Strategic Alliances and Internationalisation in the Aircraft Manufacturing Industry. *Technological Forecasting and Social Change* - TECHNOL FORECAST SOC CHANGE. 71. 443-468. 10.1016/S0040-1625(03)00002-7.

du partenariat ou pour transférer des connaissances.¹⁰ La collaboration est définie par Monczka *et al.* (2009, p. 122, cité dans Ferreira *et al.*, 2011) comme : « [...] un processus pour lequel deux ou plus parties adopter un haut niveau de coopération intentionnel pour maintenir une relation commerciale dans le temps ». Humphries et Wilding (2001, cité dans Ferreira *et al.*, 2011) « ils comprennent que le partenariat est un abordage ample pour la gestion de chaîne d'approvisionnement, impliquant technologie, processus et information, basé en confiance et l'engagement à long terme, dans le but de garantir des rendements financiers aux membres de la chaîne ». Dans son étude Ferreira *et al.*, (2011) soulignent que les ressources plus récurrentes citées pour justifier alliances et partenariats sont technologie et accès au marché ; les ressources financières ne sont pas mises en avant. Gardner, Cooper, Noordewier (1994), considère que le comportement de partenariat est une structure de haut niveau composée de cinq dimensions : l'extension, l'échange d'informations opérationnelles, les contrôles opérationnels mutuels, les avantages et les charges partagés et la planification.¹¹

La norme de concurrence de l'industrie aéronautique se concentre sur les innovations technologiques et les conditions de financement de ces innovations. À son tour, l'introduction croissante des progrès technologiques et l'augmentation conséquente du besoin de financement ont accru les besoins d'une échelle minimale de fonctionnement dans cette industrie. Ainsi, la construction d'avantages compétitifs dans le secteur aéronautique passe nécessairement par la taille de l'entreprise.¹²

Nous pouvons vérifier l'évolution du modèle du processus de conception, de développement et de production d'un fabricant de l'industrie aéronautique dans l'étude de

¹⁰ Klotzle, M. C. (2002). Alianças estratégicas: conceito e teoria. *Revista Administração Contemporânea*, vol.6, n.1, pp.85-104. <https://doi.org/10.1590/S1415-6552002000100006>

¹¹ Gardner, J. T., Cooper, M. C., et Noordewier, T. (1994). Understanding shipper-carrier and shipper-warehouse relationships: partnerships revisited. *Journal of Business Logistics*, 15(2), 121-121.

¹² Barbieri, M., Araújo, R. D., Mello, C. H., Marques, R. (2008). Relatório de Acompanhamento Setorial Indústria Aeronáutica - Vol. 1 - Unicamp. https://www3.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/RelatorioABDI/aeronautica_vol-I_marco2008.pdf

Oliveira (2005)¹³, où est décrite l'évolution du mode de fabrication de l'Empresa Brasileira de Aeronáutica (Embraer) dans le développement et fabrication de leurs avions, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 - Évolution du processus de production de Embraer

Modèle	Nombre de fournisseurs	Partenaires à risque	Type d'assemblage	Gestion de fabrication
EMB 120 – Brasília	500	0	En ligne	Traditionnel
ERJ 145	350	4	En ligne	Lean ¹⁴
ERJ 170	22	16	En quai	Lean

Source : Adapté de Oliveira (2005) p. 82

Le terme « partenaire à risque » peut prendre plusieurs significations, selon le niveau d'interaction et la complexité du partenariat entre les membres. Bastos (2006, cité dans Ferreira *et al.*, 2011) exprime clairement et objectivement l'utilisation de ce terme dans la chaîne aéronautique :

Un partenaire à risque est un fournisseur qui assume les risques financiers dans la phase de développement des projets et participe aux résultats. Ce partenaire participe à la conception conjointe du produit et à l'établissement de spécifications techniques, agrège la technologie, et est responsable de la fourniture de systèmes complets et de sous-ensembles (moteurs, avionique, fuselage), qui sont intégrés dans l'assemblage final. L'avion est conçu pour

¹³ de Oliveira, L. G. (2005, août). *A Cadeia de Produção Aeronáutica no Brasil: uma análise sobre os fornecedores da Embraer*. [Thèse de doctorat, Universidade Estadual de Campinas]. <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/286709>

¹⁴ Lean a été créé à l'origine par Toyota pour éliminer le gaspillage et l'inefficacité dans ses opérations de fabrication (temps, main-d'œuvre et intrants) de produits et/ou services qui n'ajoutent pas de valeur. Il s'agit d'une méthodologie d'amélioration continue axée sur la gestion et l'amélioration des processus de l'entreprise.

accueillir un certain type de composant, qui peut difficilement être remplacé par un autre fournisseur.

Pour maintenir leur compétitivité, les constructeurs aéronautiques ont été exposés à une forte pression de la part de leurs clients pour le développement de produits dont les coûts d'exploitation sont de plus en plus faibles, ce qui, combiné à des exigences environnementales, force la conception de nouveaux produits à une plus grande durabilité environnementale et financière (réduction des coûts d'exploitation). À partir de 2000, les principaux constructeurs aéronautiques ont commencé à développer de nouveaux avions ou à mettre à jour leurs modèles, grâce à des améliorations aérodynamiques (matériaux et conceptions) et de nouveaux moteurs, pour répondre à cette demande. Actuellement, nous avons des modèles qui ont une consommation de carburant par siège-kilomètre de 14 % à 25 % plus efficace par rapport aux modèles précédents. Cette évolution est démontrée dans le tableau 3.

Tableau 3 - Évolution consommation de carburant par siège kilomètre

Catégorie Aéronef	Aéronef	Type	Autonomie (km)	Avantages en matière de consommation de carburant par siège-kilomètre disponible (par rapport au prédécesseur ou concurrent)	Mise en service	Capacité maximale du siège	Aéronef de référence
Jet régional	Airbus A220-100	Allée simple	5741	20%	2015	125	Airbus A319 ceo
	Airbus A220-300	Allée simple	6112	20%	2016	160	Boeing 737-700 NG
	Embraer E190-E2	Allée simple	5278	17%	2018	114	Embraer E190
	Embraer E195-E2	Allée simple	4815	24%	2019	146	Embraer E195
Narrow-body	Airbus A320 neo	Allée simple	6500	15%	2016	194	Airbus A320 ceo
	Airbus A319 neo	Allée simple	6950	15%	2017	160	Airbus A319 ceo
	Airbus A321 neo	Allée simple	7400	15%	2017	244	Airbus A321 ceo
	Boeing 737 MAX 8	Allée simple	6570	20%	2017	210	Boeing 737-800 NG
	Boeing 737 MAX 9	Allée simple	6570	20%	2018	220	Boeing 737-900 NG
	Airbus A321 LR	Allée simple	7400	20%	2018	240	Boeing 757-200W
Wide-body	Boeing 787-9	Allée double	13620	20%	2014	242	Boeing 767-300ER
	Airbus A350 XWB 900	Allée double	15000	25%	2015	400	Airbus A330-300
	Boeing 787-10	Allée double	11910	25%	2018	330	Boeing 767-400ER
	Airbus A330 900 neo	Allée double	12130	14%	2018	440	Airbus A330-300
	Airbus A350 XWB 1000	Allée double	14750	25%	2018	440	Airbus A330-300
	Airbus A330 800 neo	Allée double	13900	14%	2019	406	Airbus A330-200

Source : Adapté IATA

En 2017, les quatre plus grands constructeurs aéronautiques ont entrepris la fusion ou l'acquisition de programmes entre eux. Embraer et Boeing ont commencé des études pour la création d'une coentreprise, appelée Boeing Brasil Commercial. En 2018, un accord a été signé où Embraer aura une participation de 20 % et Boeing 80 %, dans cette opération, Embraer a renoncé à toute sa division d'avions commerciaux, sous le règne de l'ancien Embraer, les divisions d'avions militaires et exécutifs. Boeing paierait US\$ 4,2 milliards pour cet accord. Toutefois, le 25 avril 2020, Boeing a annoncé qu'elle renonçait à l'accord avec Embraer, Boeing a cité que la cause de la non-continuation était due à l'incapacité d'accepter les termes finaux de l'accord, dans un communiqué publié par la compagnie, il a été signalé que « Boeing a exercé son droit de retrait après

qu'Embraer n'a pas rempli les conditions nécessaires. » Embraer a vivement réagi en accusant Boeing d'avoir « illégalement » rompu leur accord et d'avoir avancé des « arguments fallacieux » pour ne pas remplir ses engagements et payer US\$ 4,2 milliards. Selon le groupe brésilien, Boeing ne souhaitait plus mener à bout l'opération « au vu de sa propre condition financière » et des problèmes entourant « le 737 MAX, d'autres activités et sa réputation ». ¹⁵

Embraer prévoit à cet égard de poursuivre Boeing pour les dommages occasionnés. Selon l'agence Bloomberg, le groupe américain pourrait avoir à payer jusqu'à US\$ 100 millions de frais d'annulation.

Les observateurs de l'industrie s'attendaient à la décision de Boeing et étaient essentiellement d'accord avec Embraer. Ils croient que la vraie raison de mettre fin à l'accord est l'effondrement de la demande d'avions en raison de la pandémie de coronavirus et le besoin urgent de Boeing de conserver l'argent, alors que les revenus s'épuisent. La pandémie a tellement changé la situation de Boeing que l'abandon du plan d'acquisition a semblé inévitable. « Boeing n'a plus les moyens de conclure cette entente », a déclaré Scott Hamilton, analyste en aviation à Bainbridge Island, de Leeham.net. Et politiquement, aller de l'avant avec un investissement étranger majeur aurait pu faire échouer les négociations de Boeing avec le gouvernement américain pour un prêt massif pour survivre à la crise commerciale brutale. « Les problèmes politiques et syndicaux auxquels Boeing serait confronté s'il prenait US\$ 4 milliards au gouvernement fédéral pour les envoyer au Brésil seraient énormes », a déclaré M. Hamilton. ¹⁶

¹⁵ Agence France-Presse (2020, 25 avril). Boeing renonce à racheter les activités civiles d'Embraer. *TVA Nouvelles*. <https://www.tvanouvelles.ca/2020/04/25/boeing-renonce-a-racheter-les-activites-civiles-dembraer>

¹⁶ Gates, D. (2020a, 25 avril). Boeing kills its \$4.2 billion purchase of Embraer as coronavirus roils the aviation industry. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/boeing-kills-its-4-2-billion-purchase-of-embraer/>

Le « partenariat » entre Bombardier et Airbus pour les CSeries était le seul moyen pour le constructeur canadien de remédier à sa grave situation financière, en raison des retards de l'avion. Sans ressources financières pour poursuivre les investissements exigés par le programme, Bombardier a conclu un partenariat avec Airbus en octobre 2017, où le constructeur européen a assumé 50,01 % du programme, Bombardier a maintenu une participation de 33,76 % et le gouvernement de la province de Québec a une participation de 16,24 % (résultant de l'investissement d'US\$ 1,3 milliard en 2015).¹⁷

Cependant, le fabricant canadien était toujours contraint d'achever une restructuration complète de ses activités. En novembre 2018, Bombardier a surpris le marché en annonçant la vente du programme QSeries à Viking Air, dont le siège social est situé à Colombie Britannique. Viking est contrôlée par le groupe montréalais Longview Aviation Capital Group, créé en 2016 pour gérer un portefeuille de placements à long terme dans l'industrie aérospatiale canadienne. Bombardier vend sa QSeries pour la somme d'environ US\$ 300 millions.¹⁸

En 25 juin 2019, Bombardier vendu le programme CRJ pour US\$ 500 millions plus un passif d'US\$ 200 millions à Mitsubishi Aircraft.¹⁹ Le dernier acte de la société a été annoncé en février 2020, lorsque Bombardier a vendu sa participation dans l'A220 pour US\$ 591 millions à Airbus,²⁰ de sorte que Bombardier agira à partir de maintenant seulement dans le segment des avions exécutifs.

¹⁷ Staff Radio-Canada (2018, 1 juillet). La C Series de Bombardier officiellement sous le contrôle d'Airbus. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1110315/cseries-bombardier-controle-airbus>

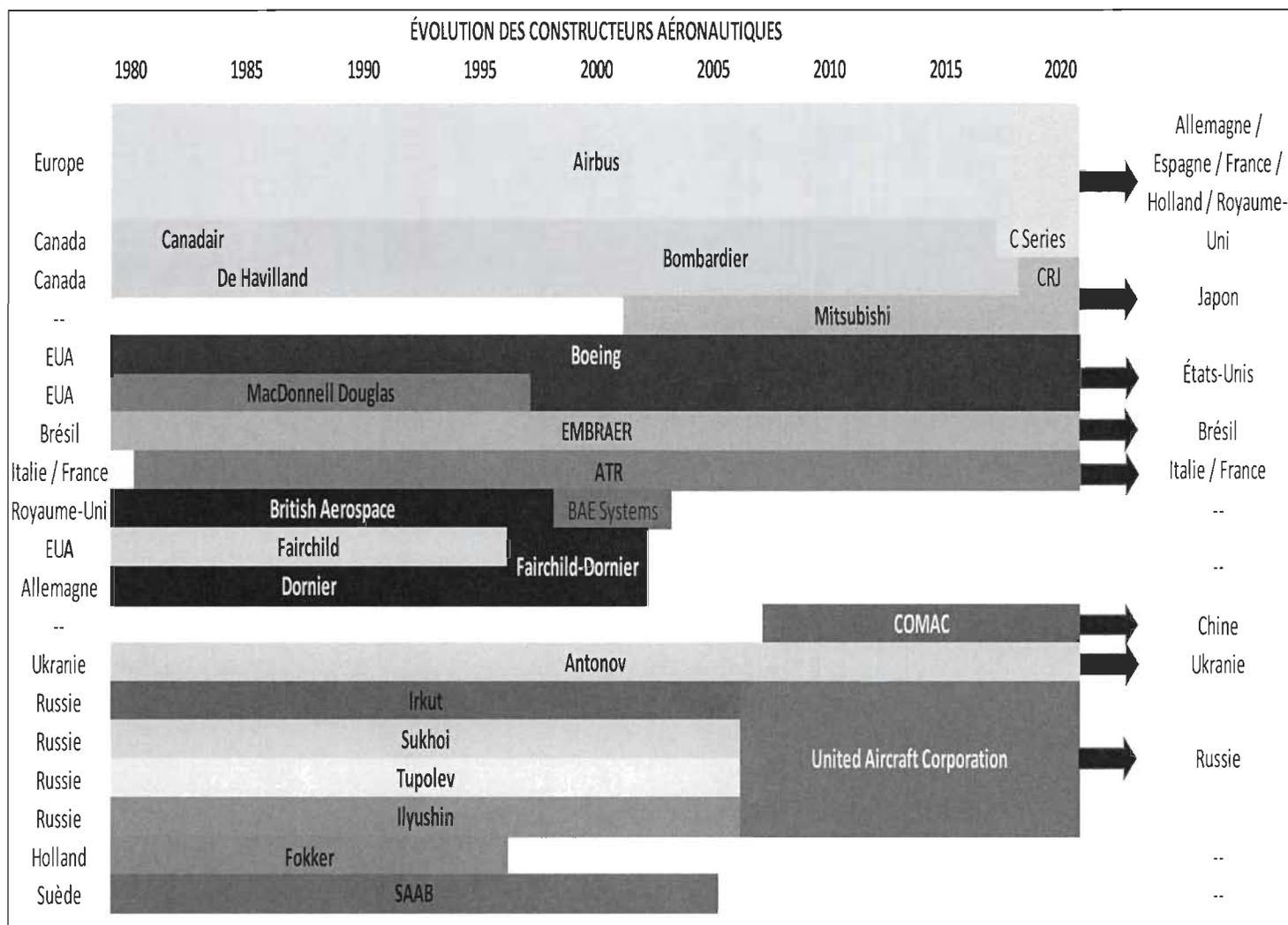
¹⁸ Staff Radio-Canada (2018, 8 novembre). Bombardier abolit 5000 postes et vend son programme d'avions Q Series. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1134666/bombardier-abolition-5000-emplois-vente-avion-q400>

¹⁹ Staff CBC (2019, 25 juin). Bombardier sells CRJ regional jet program to Mitsubishi for \$550M. *CBC*. <https://www.cbc.ca/news/business/bombardier-mitsubishi-1.5188779>

²⁰ Codère, J. F. (2020, 14 février). C Series/A220: 7 milliards US plus tard. *LaPresse*. <https://www.lapresse.ca/affaires/entreprises/2020-02-14/c-series-a220-7-milliards-us-plus-tard>

En raison des fusions, d'acquisitions ou de la faillite de certains fabricants entre 1980 à 2020, le nombre total de constructeurs aéronautiques est passé de 17 à 8. Dans le tableau ci-dessous, nous pouvons vérifier l'évolution et résultant de celui-ci, la concentration des fabricants d'avions civils dans le monde entier.

Figure 1 - Concentration de l'industrie aéronautique commerciale



Source : Propre élaboration

Figure 2 - Répartition géographique des constructeurs d'aéronefs commerciale



La principale raison pour laquelle l'union des entreprises se produit n'est pas seulement due au gain d'échelle, mais aussi à la possibilité de générer des économies d'échelle. Par économies d'échelle, nous définissons comme la possibilité de réduire les coûts (production, développement, administratif, financier) qui peuvent être obtenus par l'union, la fusion ou le partenariat entre les entreprises, même si les activités des entreprises sont différentes. Le processus de concentration des entreprises est observé dans les fournisseurs de services et les composantes de la chaîne aéronautique.

Un avion commercial nécessite des milliers de pièces à fabriquer, la quantité de pièces est proportionnelle à la taille de l'avion. Un aéronef à corps étroit (narrow-body : 737 et A-320) utilise entre 500 000 et 1 200 000 pièces, déjà un avion à fuselage large (wide-body : 777, 787, A330, A340 et A350) utilise entre 1 200 000 et 3 000 000 et s'il manque un seul composant, il n'est pas finalisé. Par conséquent, il est primordial qu'il y ait un grand partenariat et une grande fiabilité entre les clients et les fournisseurs afin que

le processus de production se déroule de manière organisée et synergique, obtenu grâce à une bonne coordination des activités. Selon Malone (1987, p. 1 319) « une structure de coordination en tant que modèle de prise de décision et de communication entre un ensemble d'acteurs qui exécutent des tâches afin d'atteindre des objectifs. »

En général, la chaîne d'approvisionnement du secteur aéronautique est structurée comme suit :

Tableau 4 - La Chaîne d'Approvisionnement Aéronautique

Original Equipment Manufacturer (OEM)
Avion / moteur : conception, assemblage et intégration
Rang 1
Conception et montage d'équipement, système et segment
Rang 2
Fabrication de sous-ensembles
Rang 3
Fabrications de composants
Rang 4
Fournisseurs de matières premières

Source : Pereira (2018) p. 12

Les fournisseurs de la chaîne d'approvisionnement aéronautique sont classés en cinq niveaux décrits ci-dessous :

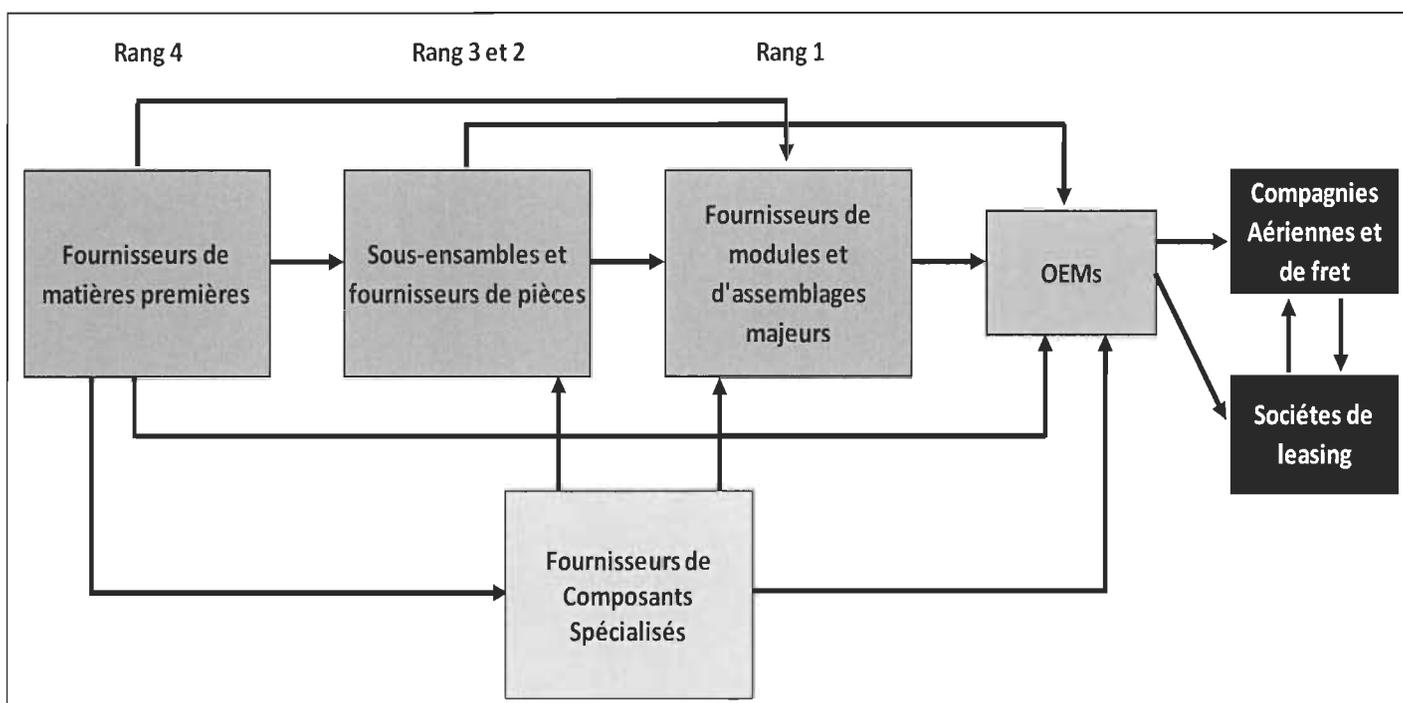
- ✓ OEM : Qui produisent les avions et les moteurs pour les compagnies aériennes qui se procurent les structures et les systèmes auprès des fournisseurs de 1er rang ;
- ✓ Rang 1 : Qui produisent les trains d'atterrissages, les ailes et le fuselage ;
- ✓ Rang 2 : Les fabricants des pièces mécaniques, roues et freins, contrôle de vol et avionique et actionneurs hydrauliques ;
- ✓ Rang 3 : À ce niveau, nous avons les fournisseurs d'accessoires, roulements, pièces en plastique et coulées, intérieurs et système de divertissement de l'avion ;
- ✓ Rang 4 : Ce sont des fournisseurs des matières premières (aluminium, titane, etc.) qui fabriquent des matériaux forgés, fusionnés ou extrudés.

À l'intérieur de la chaîne, il est plus commun qu'un fabricant d'un niveau inférieur (exemple rang 3) fournit des pièces et des composants à un fabricant d'un niveau supérieur (rang 1 ou 2), de sorte que la SC (Supply Chain) de l'industrie aéronautique n'est pas une structure rigide et pyramidale parmi ses membres, elle est dynamique et a des liens d'intégration entre ses niveaux ascendants et descendants et intenses.

Cette structure de la chaîne aéronautique est corroborée par l'étude de Beelaerts, Santema et Curran (2010), ils sont exposés que dans le passé, l'industrie de la transformation de multisegment s'est transformée en une nouvelle configuration et gestion du réseau de production. Une nouvelle façon de gérer la production est plus évidente dans les secteurs industriels, en concurrence, sur la base d'économies d'échelle et dont les OEMs se sont concentrés sur les compétences en externalisant la production non essentielle de composants à leurs fournisseurs ou en concevant et en développant des produits en collaboration avec leurs partenaires. À l'intérieur de la gestion de la chaîne d'approvisionnement (Supply Chain Management en anglais SCM), ce modèle est nommé comme Large Scale Systems Integrator (LSSI), ou Intégrateur de systèmes à grande échelle, où l'OEM assume le rôle d'intégrateur, dans lequel leurs principales compétences

sont le partage des connaissances, des compétences de collaboration, de la vision des produits et de la connaissance du marché. Par conséquent, les fournisseurs des niveaux 1, 2 et 3 gagnent à la fois des influences et assument des risques, des responsabilités et des revenus dans la SC. Nous pouvons vérifier l'intégration et cette structure de la chaîne aéronautique à la figure 3 : ²¹

Figure 3 - Intégration de la Chaîne d'Approvisionnement Aéronautique



Source : Adapté de Beelaerts

La structure de la chaîne aéronautique celui Beelaerts *et al.* (2010), confirme la vision de Oliveira (2008, cité dans Souza, 2012) dans laquelle les constructeurs d'avions maintenant appelés intégrateurs ont commencé à utiliser des concepts de production plus allégés, c'est-à-dire que le concept *BFC* (better, faster et cheaper - mieux, plus vite et

²¹ Beelaerts van Blokland, W., Santema, S.C. et Curran, R. (2010). Flowing value more lean by leveraging value on the supply chain. *Lean Supply Chain Management in Aerospace*. doi: 10.1002/9780470686652.eae370. https://www.researchgate.net/publication/230261967_Lean_Supply_Chain_Management_in_Aerospace

moins cher) a été inséré dans la dynamique organisationnelle et productive comme un outil pour réduire les coûts de développement et de production des aéronefs afin d'obtenir des avantages concurrentiels.²²

Ces dernières années, lors du lancement de certains avions commerciaux, il y a eu des retards dus à des échecs dans le processus de développement et de fabrication de fournitures d'aéronefs, nous citons le cas de l'Airbus A380, le Boeing 787-8 Dreamliner, le Mitsubishi SpaceJet (ancien MRJ – Mitsubishi Regional Jet), Bombardier CS100 et Comac C919 (tableau 5), retardent le chiffre d'affaires de la société, augmentent les coûts fixes et nuisent à l'image du fabricant auprès de ses clients (compagnies aériennes et fret et les sociétés de leasing).

Tableau 5 - Retard dans la livraison des premiers aéronefs par les OEMs

Avion	Prévision de livraison	Date de livraison	Délai	Entreprise de Lancement
Mitsubishi SpaceJet M90	2013	2021-2022*	8-9 ans	All Nippon Airways (ANA) - Japon
Comac C919	2016	2021-2022*	5-6 ans	China Eastern Airlines
Boeing 787-8 Dreamliner	2008	2011	3,33 ans (40 mois)	ANA - Japon
Airbus A380	2005	2007	1,58 an (19 mois)	Singapore Airlines
Bombardier CS100 (Airbus A220)	2013	2016	3 ans	Swiss - Suisse

* Livraison prévue du premier avion au client, selon le fabricant

²² Souza, R. P. N. (2012, juillet). *O Mercado Aeronáutico e a Inserção Brasileira: O caso Embraer* [Travail de conclusion de baccalauréat, Universidade Federal de Juiz de Fora]. http://www.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2012_1_Rafael.pdf

Dans ce contexte, la gestion des contrats de fourniture de pièces et de services dans la chaîne aéronautique est primordiale pour le succès des entreprises, parce que plus la chaîne de fournisseurs devient complexe, plus la probabilité que quelque chose va mal augmente sensiblement.

En bref, on peut voir que l'établissement de partenariats entre le fabricant et ses fournisseurs est un instrument de synergie entre les deux parties, où chaque membre de la chaîne développe, perfectionne et crée de nouveaux produits et technologies qui seront bénéfiques pour les deux. Par conséquent, il ne faut pas nier que le partenaire contribue à la réduction des coûts de développement et de fabrication, le temps de fabrication et de livraison des composants de l'avionique.

1.2 LES QUESTIONS DE RECHERCHE

Cette étude visée à vérifier les raisons qui conduisent au retard dans les projets des constructeurs aéronautiques, dans lequel un projet d'avion en feuille propre de 4 constructeurs d'aéronefs sera vérifié avec l'intention de répondre aux questions suivantes :

1. Pourquoi des retards importants sont-ils ou se produisent-ils dans les nouveaux projets d'avions ?
2. Ces retards sont-ils dus à des erreurs de conception dans le projet ?
3. Les retards sont-ils les conséquences de mauvaises décisions ?
4. Les retards peuvent-ils être attribués à un manque d'expérience et de connaissance de l'OEM ou de ses fournisseurs ?
5. À quels rangs de la chaîne d'approvisionnement y a-t-il eu des défaillances qui ont entraîné des retards dans le projet ?
6. Pourraient-ils être évités ? Si c'est le cas, comment ? Sinon, si des événements imprévus ont causé les retards, quelles mesures les équipementiers pourraient-ils prendre pour atténuer leur occurrence ou les effets ?

C'est salubre que les entreprises de la chaîne aéronautique soient en mesure d'établir des partenariats avec leurs fournisseurs afin que tous les composants soient reçus dans les délais corrects et les spécifications. Dans le contexte de la fabrication actuelle, où l'amélioration continue et/ou l'innovation est des facteurs de pertinence dans le succès des entreprises et de leurs produits, associés à l'augmentation du carburant (intrants avec une plus grande dépense sur un avion) et de nouvelles orientations écologiques, politiques et sociales pour les produits éco-durables, les fabricants et leurs fournisseurs sont pressés de développer et/ou d'affiner leurs produits pour répondre aux nouveaux besoins et exigences du marché.

De cette façon, à la fin de ces travaux, nous démontrerons les principales raisons qui ont conduit au retard dans la fabrication d'un avion et fournirons ainsi des données aux fournisseurs et fabricants aéronautiques pour les aider à améliorer le partenariat entre eux.

Une autre raison de mener cette étude est que lors d'une recherche initiale, nous n'avons trouvé aucune étude antérieure abordant ce sujet, nous avons vérifié qu'il existait plusieurs études scientifiques ou rapports de journaux et de magazines spécialisés dans les secteurs des affaires ou aéronautique, qui abordent séparément un projet (par exemple, retard dans le projet Boeing 787 ou Mitsubishi SpaceJet M90). Afin d'atteindre l'objectif de l'étude, les étapes suivantes seront suivies :

- Première étape : Démontrer comment la chaîne d'approvisionnement du segment aéronautique est constituée et, rapporter les cas de succès dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement du secteur automobile ;
- Deuxième étape : Mener une recherche dans des articles académiques, scientifiques et dans la presse spécialisée du secteur aéronautique et des affaires concernant les retards dans la conception de la fabrication d'aéronefs et l'objet de la présente étude (décrit en 1.4- Localisation) ;

- Troisième étape : Analyser les informations de la deuxième étape et la transformer en données indiquant où, comment et pourquoi des retards sont survenus dans la conception de nouveaux avions ;
- Quatrième étape : À partir des données de l'étape précédente, indiquer les conséquences des retards pour les constructeurs d'avions.

1.3 PROBLÈME SPÉCIFIQUE

La création, le développement et la fabrication d'un avion est un projet complexe, parce que nous avons l'interrelation, l'interaction et l'interconnectivité de plusieurs éléments au sein d'un système et entre le système et son environnement. Selon Project Management Institute (PMI), un projet est un effort temporaire entrepris pour créer un produit, un service ou un résultat exclusif. Un projet est temporaire dans la mesure où il a un début et une fin définis dans le temps et donc la portée et les ressources définies. Et un projet est unique parce qu'il n'est pas une opération de routine, mais un ensemble spécifique d'opérations est conçu pour atteindre un objectif singulier. Ainsi, une équipe de projet comprend habituellement des personnes qui ne travaillent pas ensemble habituellement, parfois de différentes organisations et dans diverses régions géographiques.

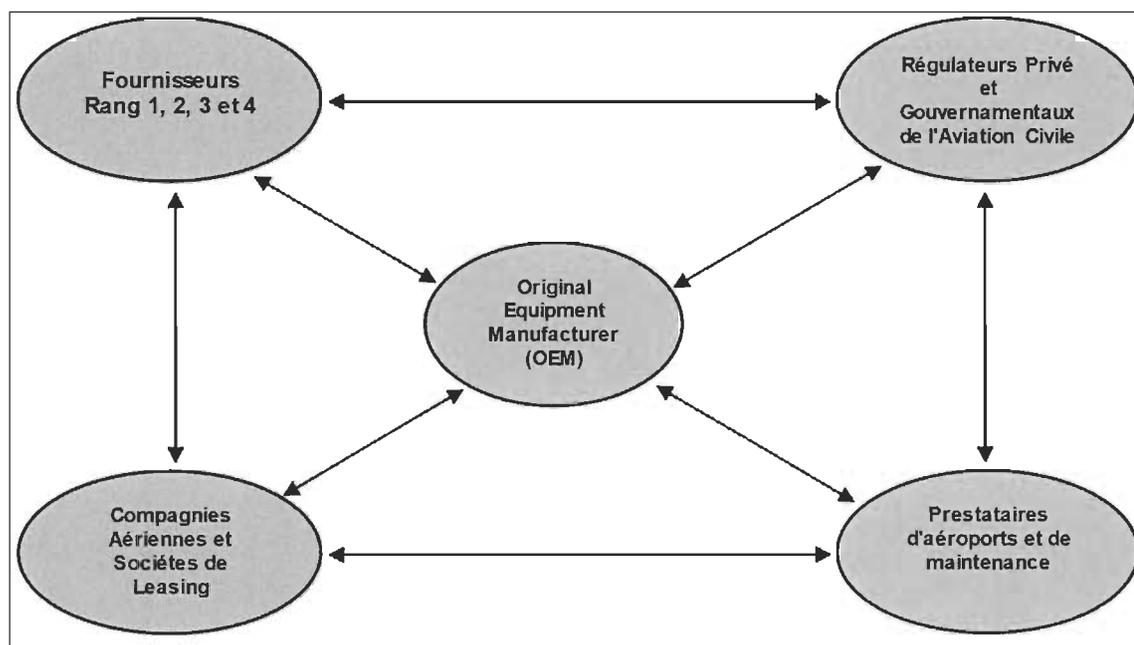
Un autre point d'extrême importance pour la chaîne aéronautique est la sécurité et certification d'un avion. Selon l'étude Valdeira, Diogo, Frazão, et Mendes (2015), la construction d'un avion implique une complexité des systèmes, ainsi, les constructeurs d'avions recourent à diverses méthodes pour assurer la sécurité d'un avion, effectuer des essais sur l'équipement aéronautique et les processus de fabrication et d'entretien qui seront nécessaires pour la certification ultérieure de cette.²³

²³ Valdeira, F., Diogo, F., Frazão, J., Silva, M., et Mendes, S. (2015). *Segurança, Certificação e Testes de Aeronaves*. [Travail de maîtrise intégré en ingénierie aérospatiale, Técnico Lisboa].

Un avion à commercialiser et, par conséquent, voler dans un pays doit être certifié par les organismes de réglementation de ce pays, les deux plus connus et les plus importants sont la Federal Aviation Administration (FAA) aux États-Unis et European Union Aviation Safety Agency (EASA) en Europe ; sans l'approbation de ces agences, un aéronef ne peut pas survoler les pays dans lesquels il opère.

Comme le montre le tableau 4 (page 17), la chaîne aéronautique est composée de quatre niveaux de fournisseurs en fonction de la complexité du produit ou du service à fournir. Mais il ne faut pas oublier qu'au-delà de la relation entre le constructeur et fournisseurs, le segment aéronautique comporte d'autres agents qui interagissent avec la chaîne aéronautique, comme décrit dans la figure ci-dessous :

Figure 4 - Agents du Secteur Aéronautique



Source : Propre élaboration.

Dans cette perspective, il est primordial que la gestion de projet d'un avion nécessite une gestion très bien coordonnée entre plusieurs organisations.

1.4 LOCALISATION

Initialement, ce travail traiterait de la question des contrats de la chaîne aéronautique parce qu'on croyait que les problèmes de retards dans la fabrication et les livraisons d'avions étaient dus à des contrats défectueux, qui n'offraient pas de garanties d'exécution de services ni le respect des délais. Cependant, au cours de la recherche, il a été constaté que le retard est dû à des projets avec une planification déficiente, de décisions erronées des fabricants et de leurs partenaires en relation avec des projets, des échecs de communication, des retards dans les livraisons de produits et absence ou omission de contrôler le processus de fabrication. Dans le cas du programme 787, une clause contractuelle a été établie dans laquelle les fournisseurs stratégiques (responsables des sous-composants) ne seront payés que lorsque le premier 787 soit développé, certifié et livré au client lanceur (ANA). Boeing a désigné cette nouvelle modalité de paiement comme un partage des risques qui visait à encourager ces fournisseurs à collaborer et à coordonner leurs efforts de développement.²⁴ Toutefois, la principale raison de l'adoption de cet instrument était la décision de l'entreprise d'externaliser la majeure partie de son investissement dans le projet aux fournisseurs.

L'objet de l'étude du présent travail sera d'identifier les principaux points sur lesquels la gestion de projet peut aider les entreprises du secteur aéronautique visant à assurer le respect des délais prévus dans le projet. De cette manière, une recherche sera réalisée avec des constructeurs d'avions commerciaux équipés de moteurs à réaction, parmi lesquels les quatre plus grandes fabricantes : Boeing, Airbus, Bombardier et Embraer, en ce qui concerne le segment de la fabrication d'aéronefs commerciaux. Nous soulignons que Embraer est le seul fabricant qui n'a pas présenté de retard dans le lancement de ses produits et, de cette façon, elle sera supprimée de l'étude et son efficacité et efficience dans la planification, fabrication et gestion des projets aéronautiques sera

²⁴ Kwon, H. D., Lippman, S. A., McCardle, K. F., & Tang, C. S. (2010). Project management contracts with delayed payments. *Manufacturing & Service Operations Management*, 12(4), 692–707. <https://doi.org/10.1287/msom.1100.0301>

utilisé comme modèle aux autres fabricants. En ce qui concerne Bombardier, en fonction de la vente de tous ses programmes d'avions commerciaux, en tant que fabricant d'avions exécutifs seulement, nous avons choisi de ne pas insérer l'entreprise dans l'étude. Ainsi, l'étude académique couvrira deux entreprises entrantes (Comac et Mitsubishi) et les deux plus grands constructeurs d'avions commerciaux (Airbus et Boeing). Une enquête a été menée sur les projets de nouveaux avions de ces 4 constructeurs, qui ont permis de déterminer quels aéronefs présentaient des retards. Ainsi, les projets SpaceJet M90 (Mitsubishi), C919 (Comac), 787 Dreamliner (Boeing) et A380 (Airbus) ont été sélectionnés pour l'étude. Avec ces données, l'étude sera développée en mettant en évidence les facteurs de succès et d'échec des projets, visant à confirmer ou infirmer les hypothèses :

- Hypothèse 1 : Problème des contrats ;
- Hypothèse 2 : Erreur de conception de projet et échec dans le processus décisionnel ;
- Hypothèse 3 : Manque de connaissances et maturité des projets ;
- Hypothèse 4 : Défaillances ou absence de coordination de la chaîne d'approvisionnement aéronautique.

Le choix des hypothèses a été inspiré par les études de Denning (2013a et 2013b), qui traite de l'externalisation et de la délocalisation excessives du 787 Dreamliner ; dans l'étude de Kwon, Lippman, McCardle et Tang (2010) sur l'influence des contrats sur les retards de projet ; dans les travaux de Treuner, Hübner, Baur et Wagner (2014) qui abordent les principales causes de rupture de stock dans la chaîne d'approvisionnement aéronautique et, dans l'étude de Elahi, Sheikhzadeh et Lamba (2014) qui ont analysé le programme d'externalisation du 787.

CHAPITRE 2 - CONTEXTE THÉORIQUE

Selon Demo (1995), la définition de la méthodologie est :

L'étude des chemins, des instruments utilisés pour faire de la science. C'est une discipline instrumentale au service de la recherche. Tout en visant à connaître les voies du processus scientifique, elle pose également des problèmes critiques, pour rechercher les limites de la science, soit comme référence à la capacité de connaître, soit comme référence à la capacité d'intervenir dans la réalité.²⁵

Par conséquent, selon Demo la méthodologie est une discipline instrumentale qui implique d'étudier le chemin et les instruments utilisés pour faire la science, établissant la démarcation entre ce qui est, et ce qui n'est pas la science.

Cette recherche peut être considérée comme exploratoire, car il s'agit d'une étude préliminaire dans le but de se familiariser avec un phénomène, de sorte qu'une étude ci-dessous peut être conçue avec une plus grande compréhension et la précision.

Selon Theodorson, G. et Theodorson, A. (1970) :

L'étude exploratoire permet à l'investigateur de définir son problème de recherche et de formuler son hypothèse pour ce problème. Il vous permet également de choisir les techniques les plus appropriées pour votre recherche et de décider sur les questions qui nécessitent le plus d'attention et de recherche détaillée, et peut vous alerter à des difficultés éventuelles, des sensibilités et des zones de résistance.²⁶

²⁵ Demo, P. (1995). *Metodologia Científica em Ciências Sociais* (3e éd.). Editora Atlas.

²⁶ Theodorson, G.A., et Theodorson, A.G. (1970). A Modern Dictionary of Sociology. *International Journal of Social Psychiatry*, 19(1-2), 154-155. <https://doi.org/10.1177/002076407301900126>

Une revue de la littérature sera réalisée, incluant le SCM et la gestion de projet. La présente étude se déroulera sur une base exploratoire basée sur la recherche d'articles scientifiques, livres et rapports des publications spécialisées du segment aéronautique sans interface avec n'importe quel fournisseur ou client pour la collecte de données.

2.1 CONTRATS

Chaque pays, État ou institution a ses propres normes privées pour faire des contrats différents. En général, les contrats suivent certaines exigences de base telles que le consentement de toutes les parties impliquées, un objet et la cause de son élaboration.

Selon le producteur de films Sam Goldwyn (1882-1974), « un contrat oral ne vaut pas le papier sur lequel il est écrit. » En fait, un contrat juridiquement contraignant peut exister entre deux parties sur la base d'un accord verbal. Toutefois, aux fins de la gestion de projet, on suppose que les contrats seront écrits. Cela s'applique également à tous les contrats passés entre l'entrepreneur du projet et les sous-traitants. Cela s'applique à l'achat de biens et de services (Lock, 2013, p. 335).²⁷

Selon Lock (2013) :

Des documents écrits rédigés de façon appropriée sont susceptibles de garantir que tous les aspects de chaque entente sont disponibles pour consultation ultérieure, tant pour l'administration courante du contrat que comme preuve si un différend devait être réglé par voie juridique. Il est présumé que toute modification subséquente au contrat original sera également écrite et convenue par les parties. Que ce soit par écrit ou verbalement, plusieurs conditions doivent être remplies pour qu'un contrat juridiquement contraignant existe.

²⁷ Lock, D. (2013). *Project Management*: Vol. 10th ed. Gower.

Les points ci-dessous sont un résumé de ce que doit comporter un contrat pour la fourniture de produits et de services :

- L'Intention : Les parties doivent vouloir que le contrat soit juridiquement contraignant. Dans les contrats de projet, cette intention sera assumée ;
- L'Offre et acceptation : L'offrant (entrepreneur) doit faire une offre précise indiquant la volonté d'embaucher en termes spécifiques, et le contrat devient juridiquement contraignant pour les deux parties lorsque le fournisseur (contracté) informe l'offrant que l'offre a été acceptée ;
- La Contrepartie : Un contrat doit aboutir à ce que chaque partie promette à l'autre un avantage précieux. Dans les projets, cela signifie généralement qu'une partie promet de livrer certains biens ou services à une date précise et que l'autre partie s'engage à accepter les biens ou les services et de les payer. L'omission d'une partie de tenir sa promesse peut conduire à l'action de l'autre par rupture de contrat ;
- La Capacité : En général, si l'offre faite par une société est en dehors de la portée de ses pouvoirs, tel qu'énoncé dans la clause d'objet de son mémorandum d'association, alors la société n'a pas le pouvoir de faire l'offre et le contrat est nul (dit "ultra vires" ou « au-delà du pouvoir »).

Le fournisseur et l'entrepreneur feront du contrat un projet, qui devrait être géré par les personnes de chacune des organisations impliquées. Plus important encore, l'entrepreneur principal et le fournisseur devront considérer le contrat comme un outil de gestion des risques (Gagnon, 2010). Il existe 3 types de risques associés à un contrat qui doit être géré, qui sont :

- Risques techniques
- Risques organisationnels
- Risques financiers

Il s'avère que dans la chaîne aéronautique certains de ses membres sont mats en œuvre de nouveaux types de contrats. Selon l'étude de Richter et Walther (2017) :

Afin de réduire le coût du matériel et d'éviter les retards dans la livraison du matériel, les clients des compagnies aériennes et des MRO (Maintenance, Repair and Operations) demandent de plus en plus des contrats spécifiques fondés sur les performances pour une certaine gamme de pièces critiques ou une certaine catégorie de matériaux de leur flotte d'aéronefs. De tels arrangements sont fondés sur les services axés sur le rendement (Performance Based Services - PBS) qui garantissent la disponibilité du matériel et le rendement en temps opportun ; les coûts connexes sont liés au niveau de rendement convenu et sont souvent combinés à un régime de pénalités et d'incitatifs.²⁸

En plus de son caractère juridique, le contrat est un instrument de relation entre la partie contractante requérante et partie contractante requise et, dans le cas de composantes complexes, en plus d'assurer le respect des obligations techniques et commerciales, le contrat doit fournir des mécanismes appropriés, qui peuvent comprendre des incitations financières et non financières (partage des connaissances, normes techniques, etc.) qui permettent aux prestataires de s'acquitter de leurs obligations, mais sans oublier d'assurer et de souligner l'importance qu'ils s'efforcent de s'acquitter des responsabilités assumées.

Gagnon (2010) rapporte que le contrat est un projet, car il est orienté par des objectifs. En outre, on dit qu'il s'agit d'une série d'activités interreliées et coordonnées. Il a une durée définie, un point de départ et un point de fin. Enfin, même si des éléments répétitifs peuvent être trouvés, chaque contrat est unique en soi. Ainsi, le contrat répond à tous les éléments de caractère d'un projet et doit donc être géré comme un projet. Ce faisant, il est important que le gestionnaire de projet et son équipe soient constamment

²⁸ Richter, K., & Walther, J. (2017). *Supply chain integration challenges in commercial aerospace: A comprehensive perspective on the aviation value chain*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46155-7>

contestés par l'aspect « performance » lors de l'exécution du processus contractuel, pour deux raisons principales. La première implique que les décisions et les mesures prises, avant et après l'adjudication du contrat, auront des conséquences importantes pour le résultat du projet. La deuxième est qu'une bonne compréhension de la gestion des contrats mènera à de meilleurs résultats pour l'exécution du projet et une plus grande satisfaction de la clientèle à la fin.

Notons que l'absence de contrats, en plus de l'insécurité, provoque d'autres problèmes aux fournisseurs, comme les difficultés d'accès au crédit, car il n'y a rien à présenter les agents financiers comme preuve des demandes futures.

2.2 ERREUR DE CONCEPTION DE PROJET ET ÉCHEC DANS LE PROCESSUS DÉCISIONNEL

Les erreurs de projet contribuent grandement à l'augmentation des coûts, en raison de la refonte et du retard dans le calendrier d'un projet, ce qui influe financièrement les entreprises. Les erreurs sont un symptôme des pratiques organisationnelles et managériales qui sont dysfonctionnelles dans une organisation.

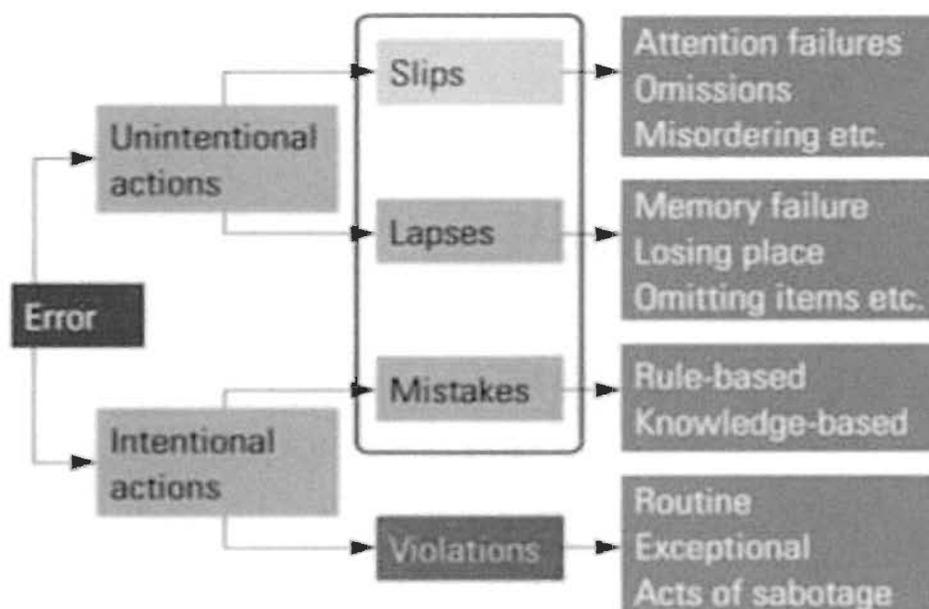
Selon Reason et Hobbs (2003) :²⁹

Les erreurs impliquent une déviation quelconque, soit l'écart d'un cours prévu, une déviation de trajectoire par rapport aux actions prévues pour un objectif désiré, soit une déviation par rapport au comportement approprié au travail, c'est-à-dire, l'échec des actions prévues pour atteindre l'objectif désiré, lorsque cela se produit sans une intervention imprévisible ou casual.

²⁹ Reason, J., Hobbs, A. (2003). *Managing Maintenance Error*. London: CRC Press, <https://doi.org/10.1201/9781315249926>

Tucker et Edmondson (2002, cité dans Love, Lopez, Edwards et Goy, 2012) définissent erreur comme « l'exécution d'une tâche non nécessaire ou mal exécutée. » Kaminetzky (1991, cité dans Al-Hattab et Hamzeh, 2015)³⁰ définit l'erreur comme « déviation de la valeur réelle, manque de précision, variation de la mesure due au manque de perfection humaine et mécanique. » Selon Reason (1994) les erreurs sont classées en deux groupes. Le premier, il appelle actions involontaires qui se composent de deux éléments : les ratés (slips) et les lapsus (lapse). Le deuxième groupe est classé comme actions intentionnelles étant composé de deux éléments : les méprises (erreurs) et la violation, soulignant que la violation n'est pas classée comme une erreur, parce qu'il s'agit d'une transgression volontaire d'une règle ou d'une procédure imposée.

Figure 5 - Classement des erreurs selon Reason



Source : Aviation Institute Management (AIM)

Communément le terme échec est utilisé comme synonyme d'erreur, cependant, selon Ayininuola et Olalusi (2004, cité dans Love *et al.*, 2012), il y a une différence subtile

³⁰ Al-Hattab, M. et Hamzeh, F. (2015). Using Social Network Theory and Simulation to Compare Traditional versus BIM–Lean Practice for Design Error Management. *Automation in Construction*. 52. 59–69. 10.1016/j.autcon.2015.02.014.

entre les termes, « un défaut est une différence inacceptable entre la performance attendue et l'observant, en cas d'échec, nous avons une attente implicite, alors qu'en cas d'erreur, il y a une intervention imprévisible ou fortuite. » Le problème de l'erreur peut être vu de deux façons : l'approche de la personne et l'approche du système. Chaque approche a un modèle de causalité d'erreur et de philosophies diverses pour le gérer (Reason, 2000). Selon Lerner (1970) l'approche humaine est influencée par des processus mentaux, tels que l'oubli, l'inattention, le manque de motivation, l'insouciance, la négligence et l'imprudence. Déjà l'approche systémique a pour prémisse que les humains sont faillibles et les erreurs sont attendues et qu'ils sont considérés comme une conséquence et non comme des causes.

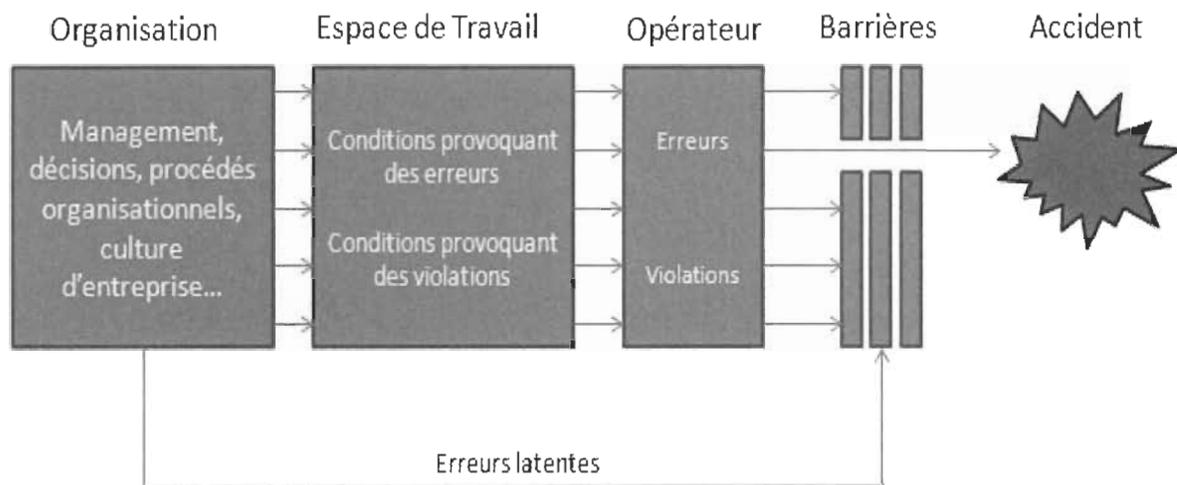
Contrairement à Lerner, Reason (2000) souligne que l'approche de la personne, en se concentrant sur les origines individuelles de l'erreur, deux caractéristiques importantes de l'erreur sont négligées. La première est que souvent les pires erreurs sont commises par les meilleures personnes, ce n'est donc pas le monopole de quelques malheureux. La deuxième est que si les mésaventures ont tendance à tomber dans des schémas récurrents, c'est-à-dire que le même ensemble de circonstances peut causer des erreurs similaires, peu importent les personnes impliquées. Reason (2000), visant à faire la distinction entre les erreurs individuelles et les erreurs du système, a utilisé le terme erreurs actives et erreurs latentes respectivement. Selon lui, les erreurs actives se produisent généralement au point de contact entre l'individu et certains composants d'un système plus grand (par exemple : interface homme-machine), tandis que les erreurs latentes sont dues à des défaillances d'organisation ou de conception, qui restent cachées, et ont permis des erreurs actives de se produire, de sorte que les erreurs latentes définissent le scénario d'un événement tandis que les erreurs actives sont le catalyseur de l'événement.

Tsang et Zahra (2008, cite dans Love *et al.*, 2012) suggèrent que les causes et les effets de commettre des erreurs ne sont pas unidirectionnels ou linéaires, mais réciproques ou en boucle dans leurs relations. Il est nécessaire de comprendre comment ces relations

émergent et interagissent les unes avec les autres pour prévenir les erreurs. Les erreurs sont inhérentes aux humaines et nous devons développer des méthodes de prévention et de gestion des erreurs. Une gestion efficace des risques dépend essentiellement de l'établissement d'une culture de reporter (Reason, 2016). Ainsi, la gestion des risques ne signifie pas que nous éliminerons les erreurs, mais que nous définirons la meilleure stratégie pour les réduire et en atténuer les effets, sur la base de ce principe, la gestion des risques devrait être proactive et non réactive.

La figure 6 montre le modèle que Reason a conçu pour les erreurs latentes.

Figure 6 - Erreurs latentes selon Reason



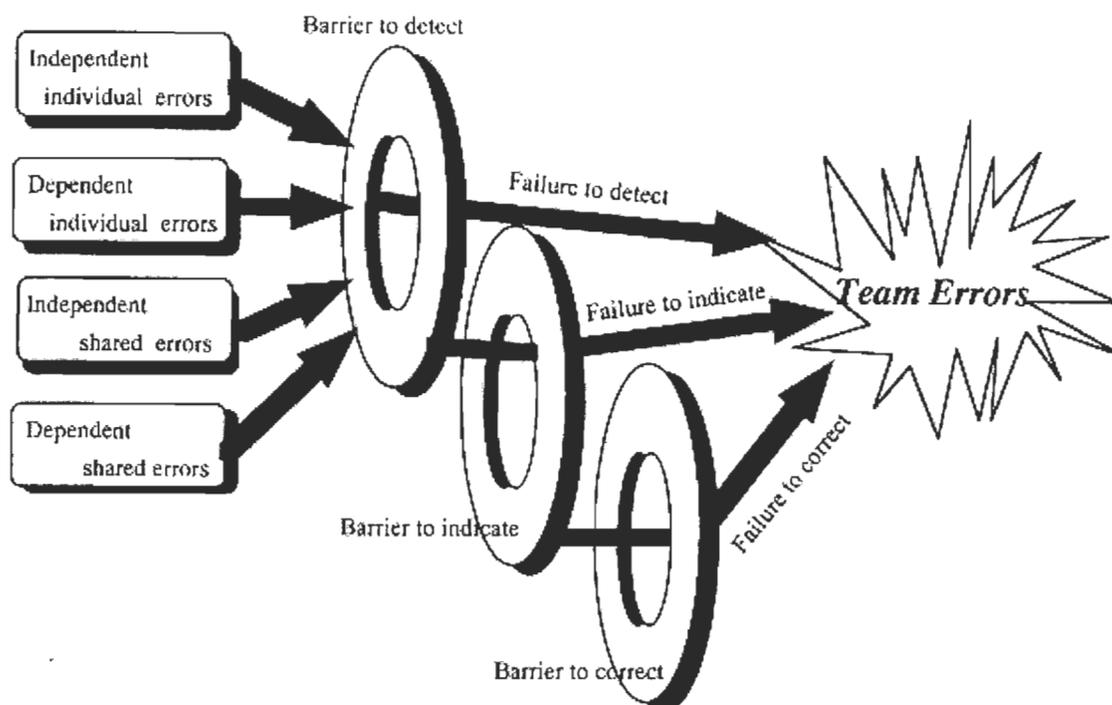
Source : Larouzée, Guarnieri et Besnard (2014)

Selon Sasou et Reason (1999) :

Les erreurs peuvent être commises par une personne ou une équipe. L'erreur d'équipe est une forme de l'erreur humaine, telle que définie par la Reason (1990). La différence est que « l'erreur d'équipe » tient compte de la façon dont un groupe de personnes a fait erreur humaine lorsqu'ils travaillaient dans une équipe ou un groupe. Ensuite, nous

pouvons définir l'erreur d'équipe comme une erreur humaine commise dans les processus de groupe.³¹

Figure 7 - Processus d'erreur d'équipe



Source : Sasou et Reason (1999)

La plupart des entreprises ont une norme de compétence selon laquelle l'inefficience est un écart-type et donc considérée comme erronée (van Dyck, Frese, Baer et Sonnentag, 2005).³² Selon van Dyck *et al.* (2005) :

Les erreurs peuvent, en principe, être différenciées des inefficacités parce que la poursuite inefficace atteint, en fin de compte, l'objectif. Cependant, la plupart des gens maintiennent une norme d'efficacité (et certainement

³¹ Sasou, K., et Reason, J. (1999). Team errors: definition and taxonomy. *Reliability Engineering and System Safety*, 65(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(98\)00074-X](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(98)00074-X)

³² van Dyck, C., Frese, M., Baer, M., et Sonnentag, S. (2005). Organizational Error Management Culture and its Impact on Performance: A Two-Study Replication. *The Journal of Applied Psychology*, 90(6), 1228–40.

des entreprises), ainsi, les routes inefficaces sont des écarts par rapport à cette tendance, et de ce point de vue, les actions inefficaces sont erronées et les gestionnaires signalent parfois des inefficacités comme des exemples d'erreurs. En raison de la nature involontaire de la déviation qui caractérise les erreurs, les erreurs conduisent généralement au sentiment aversif que l'on aurait dû mieux connaître. La nature involontaire de l'écart est aussi un moyen de différencier les erreurs des infractions (qui sont des écarts intentionnels par rapport aux normes, des règles, des pratiques ou des recommandations).

Selon Vieira, Chain, Bravo et Vieira (2017) :

En gestion de projet, tout ce qui peut être mesuré peut-être géré. Cela s'applique également à l'incertitude mesurable : de même que la spécification d'une pièce, l'incertitude est associée à une magnitude (valeur d'une unité de mesure) et à un intervalle de confiance à l'intérieur duquel l'opérateur peut la mesurer. Ainsi, l'incertitude mesurable est l'incertitude qui peut être estimée, soit parce que l'activité a été effectuée auparavant et qu'il y a donc un historique lié à cette activité, soit en raison de l'expérience antérieure du gestionnaire responsable de la prise de décision.³³

La gestion de projet peut être résumée comme l'application des connaissances, des compétences et des techniques qui visent à réaliser un ensemble d'objectifs pour s'assurer qu'un projet réussit, si l'un des indicateurs de performance d'un projet est l'absence d'erreurs ou lorsqu'une erreur se produit, elle est détectée et résolue sans causer de problèmes majeurs dans le projet. Selon PMI (2013), la gestion de projet est divisée en 10 parties qui sont nommés domaines de connaissances en gestion de projet. L'un de ces domaines est la gestion des risques. La définition de PMI (2013) pour les risques est :

³³ Vieira, D.R., Chain, M.C., Bravo, A., et Vieira, R.K. (2017). Model for managing uncertainty in aeronautics projects. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 10(3), 258–278. <https://doi.org/10.1504/IJPLM.2017.087573>.

Un événement ou une condition incertaine qui, s'il se produit, a un effet positif ou négatif sur un ou plusieurs objectifs de projet, tels que la portée, le calendrier, le coût et la qualité. Un risque peut avoir une ou plusieurs causes, et si c'est le cas, il peut avoir un ou plusieurs impacts. Une cause peut être une exigence, une hypothèse, une contrainte ou une condition particulière ou potentielle qui crée la possibilité de résultats négatifs ou positifs.

Comme on l'a dit, le risque fait partie intégrante d'un projet, et l'erreur est l'un des risques qui peuvent se produire. Aucun projet n'est à l'abri d'être touché par des événements prévisibles ou imprévisibles, il est donc impératif pour la bonne progression de tout projet qu'il est envisagé avec des mécanismes d'identification, d'analyse, de contrôle et de résolution des erreurs.

On peut citer une erreur de projet (négligence), qui arrive à être absurde, l'annonce du cinquième retard survenu avec Mitsubishi SpaceJet M90, qu'en 14 juin 2019 a renouvelé son projet SpaceJet,³⁴ en raison de la nécessité de reconfiguration des systèmes électriques pour répondre aux exigences de certification de la part de la FAA, qui, en 2007, exigeait que les aéronefs respectent de nouvelles normes de sécurité dans les systèmes électriques.³⁵ Cette nouvelle exigence était due à l'accident survenu le 17 juillet 1996 (vol TWA 800),³⁶ donc, un an avant, Mitsubishi considérait annoncer son jet de passagers. La Mitsubishi, qui avait déjà commencé à travailler au programme SpaceJet, a ignoré le changement, ils étaient clairement conscients de la nouvelle exigence, mais ne l'ont pas appliqué à la conception. L'achèvement du programme a été supprimé pour deux ans. Des

³⁴ Schuurman, R. (2019, 14 juin). From Mitsubishi MRJ to SpaceJet: what was changed? *AirInsight*. <https://airinsight.com/from-mitsubishi-mrj-to-spacejet-what-has-changed/>

³⁵ Kelly, T. et Shiraki, M. (2017, avril 17). Japan jet may not make money, but aims to revive dormant industry. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-japan-aerospace-mrj-analysis/japan-jet-may-not-make-money-but-aims-to-revive-dormant-industry-idUSKBN17J1ST>

³⁶ National Transportation Safety Board (1996, 17 juillet). Aircraft accident report - In-flight Breakup Over the Atlantic Ocean Trans World Airlines Flight 800 Boeing 747-131, N93119 Near East Moriches, New York. *NTSB*. <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR0003.pdf>

avions d'essai supplémentaires ont été nécessaires avec le placement avancé et le partitionnement de l'avionique et le câblage reconfiguré. Les changements dans l'avionique ont été rapidement décidés, mais le câblage d'un avion moderne est un projet majeur. Il a fallu la plus grande partie de 2017 pour terminer cette mise à jour.

Un autre exemple d'erreur dans le processus de prise de décision du projet SpaceJet était pour le choix du cockpit, où un ancien employé de Mitsubishi appartenant à l'équipe de développement a accordé des informations pour la matière sur le site Web Nikkei Asian Review, informe qu'un dirigeant de Boeing a proposé l'utilisation du cockpit du Boeing 737. L'avantage d'adopter le même cockpit du 737 aurait été énorme : les coûts de formation des pilotes et des mécaniciens auraient été beaucoup plus faibles et il y aurait moins de réticence à piloter les nouveaux aéronefs. Malgré d'excellents avantages pour le projet MRJ, les dirigeants de la Mitsubishi Aircraft Corporation (MAC) ont ignoré la proposition. Ils ont insisté sur le développement de leur propre concept dans la création du projet et ont perdu une occasion inégalée pour atteindre un grand avantage concurrentiel.³⁷

Selon le même reportage du Nikkei Asian, la Mitsubishi Heavy Industries (MHI), le père du MAC, s'est rendu compte que la configuration initiale du programme avait des lacunes organisationnelles et de compétences. Plusieurs réorganisations ont suivi, avec le passage le plus récent d'une organisation à prédominance fonctionnelle à une équipe intégrée de produits. L'équipe de produits intégrés regroupe l'ingénierie, la certification, la gestion de la SC, la fabrication et la gestion des produits dans une seule ligne de gestion.

³⁷ Ichihara, T. (2017, 30 novembre). Repeated delays dim the Mitsubishi Regional Jet's sales prospects. *Nikkei Asian Review*. <https://asia.nikkei.com/magazine/20171130/Business/Repeated-delays-dim-the-Mitsubishi-Regional-Jet-s-sales-prospects?page=2>

MHI, maintenant avec la supervision directe du projet, a veillé à ce que le MAC complète l'équipe d'origine avec l'expertise externe nécessaire pour assurer le projet et éviter des retards supplémentaires.

2.3 MANQUE DE CONNAISSANCE ET MATURITÉ DES PROJETS

Le manque de connaissances au sein des entreprises est l'un des principaux facteurs qui contribuent aux échecs et aux retards dans la planification et la conduite des projets, ainsi que les activités routinières de l'organisation. La formation des personnes, qui sont les ressources les plus précieuses de l'entreprise, n'est pas homogène, parce que chaque personne a des compétences et des qualités individuelles, faisant du processus d'enrichissement / apprentissage professionnel, une activité qui exige du temps et de la patience dans sa mise en œuvre.

Le manque ou le faible niveau de connaissances professionnelles génère l'immaturation (dans l'approche de l'être humain), qui est l'absence de compréhension et d'entente ou de la perception³⁸ incorrecte ou partielle d'une norme, d'une réglementation, d'une activité, d'une planification ou de toute autre activité professionnelle.

Il existe plusieurs définitions de la maturité du projet. Selon la société de conseil en gestion de projet PM Solutions, la maturité de la gestion de projet désigne l'élaboration progressive d'une méthodologie, d'une stratégie et d'un processus décisionnel de gestion de projet à l'échelle de l'entreprise. Le niveau de maturité approprié variera pour chaque organisation en fonction de ses objectifs, de ses stratégies, de ses capacités en matière de ressources, de sa portée et de ses besoins. La maturité est atteinte lorsqu'elle peut démontrer des améliorations comme la livraison à temps des projets, la réduction des coûts, l'efficacité organisationnelle et la rentabilité. Une fois que le niveau initial de maturité et les points à améliorer ont été déterminés, le modèle de maturité fournit une

³⁸ Pour Descartes, la perception est tout l'acte d'intelligence.

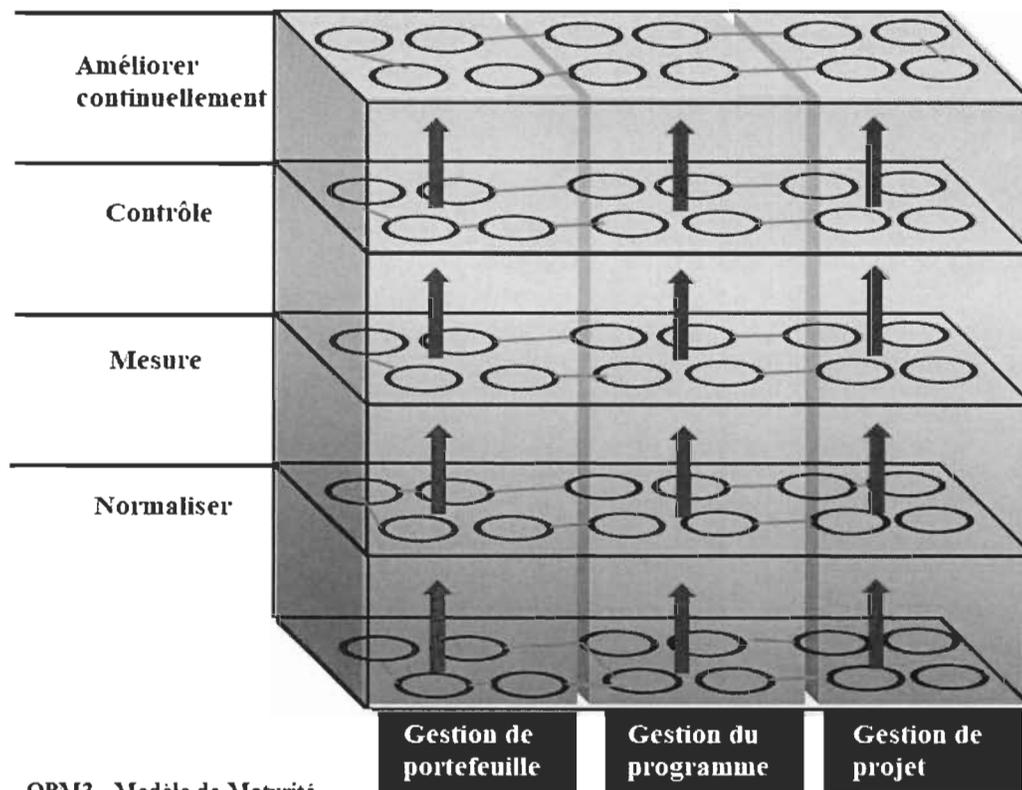
feuille de route, décrivant les étapes nécessaires à prendre pour l'avancement de la maturité de la gestion de projet et l'amélioration du rendement.³⁹

Selon le PMI (2013), la maturité organisationnelle en gestion de projet peut être définie comme la mesure dans laquelle l'organisation pratique la gestion organisationnelle des projets. Il existe plus de 30 modèles de maturité dans la gestion de projets, nous soulignons les 4 principaux qui sont :

- Organizational Project Management Maturity Model (OPM3), Modèle organisationnel de maturité de la gestion de projet ;
- Project Management Maturity Integration (PMMI), Intégration de la maturité de la gestion de projet ;
- Capability Maturity Model (CMM), Modèle de maturité des capacités ;
- Capability Maturity Model Integration (CMMI), Modèle d'intégration de maturité des capacités.

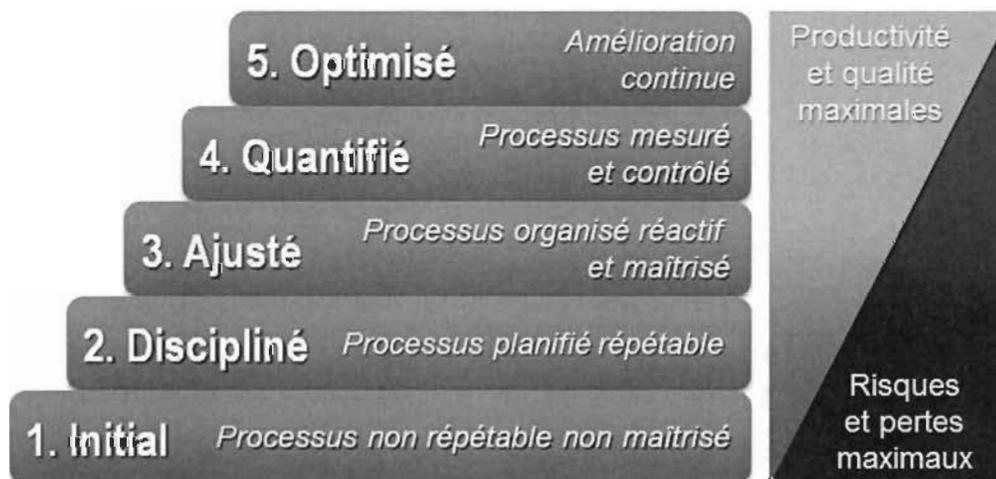
³⁹ Crawford, J.K. (2006). The Project Management Maturity Model. *Information Systems Management*, 23(4), 50-58. <https://search-proquest-com.biblioproxy.uqtr.ca/docview/214122389?accountid=14725>

Figure 8 - Modèle de maturité selon PMI



OPM3 - Modèle de Maturité
Source : adapté de PMI (2013)

Figure 9 - Niveaux de maturité selon CMMI



Source : PMI (2013)

Selon Kostalova et Tetrevova (2018) :

Le taux de réussite de la mise en œuvre des projets est très étroitement lié à la maturité de la gestion de projet et à l'utilisation de méthodes et d'outils de gestion de projet appropriés. Afin d'acquérir des compétences ou d'améliorer les processus de gestion de projet, nous devons d'abord évaluer la maturité de la gestion de projet et déterminer la base de référence et faiblesses, sur lesquels il convient de se concentrer pour accroître les compétences et d'améliorer les processus.⁴⁰

Les projets impliquent une multitude de variables humaines, financières et techniques qui influent sur le succès du projet. En ce qui concerne le succès du projet, les systèmes techniques, les systèmes comportementaux, les personnes plus compétentes et plus matures devraient être pris en considération, contribuant à la maturité du projet, se rappeler que les pratiques de projet organisationnel créent un contexte pour les pratiques de projet individuel et produisent un rendement individuel du projet qui, collectivement, ajoute à la capacité et/ou performance de l'entreprise. Tous les aspects de la gestion de projet ont deux dimensions : une technique et une humaine. La dimension technique englobe les groupes de pratiques ou des processus qui intègrent la gestion de projet, tandis que la dimension humaine comprend non seulement les personnes qui exploitent ces processus, mais aussi leur expertise (Cooke-Daves et Arzymanow, 2003).

La maturité de la gestion de projet désigne l'élaboration progressive d'une méthodologie, d'une stratégie et d'un processus décisionnel de gestion de projet à l'échelle de l'entreprise (Patel, Sharma et Shah, 2016).⁴¹ Ainsi, les organisations doivent mener leur propre croissance interne en identifiant leurs faiblesses, en mesurant leur

⁴⁰ Kostalova, J., et Tetrevova, L. (2018). Proposal of project management methods and tools-oriented maturity model. *Revista de Gestão e Projetos*, 9(1), 1-23. <https://search-proquest-com.biblioproxy.uqtr.ca/docview/2040602176?accountid=14725>

⁴¹ Patel, D. R., Sharma, N. D. et Shah, R.A. (2016). Development of project management maturity model for measuring success of construction projects in Surat City - *May 2016 IJSDR* | Volume 1, Issue 5. <http://www.ijedr.org/papers/IJSDR1605030.pdf>

niveau d'efficience et d'efficacité de la méthodologie appliquée de gestion de projet, afin de saisir le niveau de maturité dans lequel ils se situent (Scotelano, Conceição, Leonídio et de Jesus, 2017).⁴²

Pour Carvalho et Rabechini Júnior (2005, cité dans Scotelano *et al.*, 2017) et González, Franck et Bocquet (2007), la maturité est comme un plan de croissance lent et graduel, qui devrait être structuré à moyen et le long terme et que les recherches indiquent que plus la maturité est élevée, meilleure sont la performance et la capacité de programmation pour la gestion des projets par défaut.

Kerzner (2017, cité dans Scotelano *et al.*, 2017), considère que la gestion de projets va au-delà de l'adoption des connaissances, des compétences, des outils et des techniques habituellement utilisés. Les résultats de la simple utilisation de la gestion de projet, sans contrôle ni standardisation, peuvent être représentés par une succession d'erreurs et d'échecs. Cela conduit l'organisation à passer par un processus d'apprentissage lent et difficile à travers les actions de ses propres erreurs, sans tenir compte de l'apprentissage vécu par d'autres entreprises.

Mullaly (2014),⁴³ a une vision critique particulière des modèles de maturité de gestion de projet, et la définition traditionnelle de la gestion de projet, est le manque de reconnaissance et d'orientation dans la gestion de différents types de projets, en particulier pour les projets avec un degré élevé d'incertitude (Lenfle et Loch, 2010, cité dans Mullaly, 2014). Les modèles de maturité de gestion de projet doivent englober différents types de projets, et le fait que différents types de projets seront réalisés dans la même organisation. Une des failles potentielles des modèles de maturité est qu'ils définissent la cohérence de

⁴² Scotelano, L. S., Conceição, R. D. P., Leonídio, E. C. et de Jesus, C. S. (2017). Project management maturity model: The case in an automotive industry Brazil. *Brazilian Journal of Operations & Production Management* 14 (2017), pp 500-507. <https://doi.org/https://doi.org/10.14488/BJOPM.2017.v14.n4.a6>

⁴³ Mullaly, M. (2014). If maturity is the answer, then exactly what was the question? *International Journal of Managing Projects in Business*, 7(2), 169-185. DOI: <http://dx.doi.org.biblioproxy.uqtr.ca/10.1108/IJMPB-09-2013-0047>

façon très large et profonde, en espérant une approche cohérente dans tous les aspects d'une organisation et dans tous les types de projets, où des approches plus adaptables peuvent être justifiées et capables d'apporter une plus grande valeur. Par conséquent, les modèles se concentrent sur l'évaluation de la maturité de la gestion de projet sur la base de l'évaluation de l'utilisation des méthodes et outils de gestion de projet et, dans la plupart des cas, ne tiennent pas compte du type prédominant de projets mis en œuvre.

Vargas (2009, p. 4) informe que la gestion de projets ne propose rien de nouveau et révolutionnaire, sa proposition est d'établir un processus structuré et logique pour faire face aux événements qui se caractérisent par la nouveauté, la complexité et la dynamique environnementale.⁴⁴ Kerzner (2017, cité dans Scotelano *et al.*, 2017) affirme que, malgré l'importance de définir une méthodologie de gestion de projet, elle ne garantit pas son succès en termes de performance lors de son exécution.

Même si un projet comporte des risques et des incertitudes, selon Vargas (2009) on ne peut pas créer l'illusion que le projet est quelque chose qui ne peut pas être contrôlé, pour arriver à la définition frustrante du projet proposé par Kerzner (cité dans Vargas 2009), « la gestion de projet est l'art de créer l'illusion que tous les résultats obtenus par le projet ont été préalablement prévus et planifiés, alors qu'en réalité, ils n'étaient rien de plus qu'une séquence absurde de pure chance ».

2.4 GESTION DE LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT

Le SCM est : « l'intégration des différents processus et organisations d'affaires, de l'utilisateur final aux fournisseurs originaux, qui fournissent les produits, services et informations qui ajoutent de la valeur au client ». Fleury (2000)⁴⁵ affirme que le SCM est une approche qui exige des changements dans les pratiques appropriées, tant au niveau

⁴⁴ Vargas, R. (2009). *Gerenciamento de Projetos: estabelecendo diferenciais competitivos* (7e éd.). Brasport.

⁴⁵ Fleury, P., Wanke, P. et Figueiredo, K. F. (2000). *Logística empresarial: a perspectiva brasileira*. Atlas.

des procédures internes qu'au niveau externe, en ce qui concerne la relation entre les différents acteurs de la chaîne.

Wood et Zuffo (1998)⁴⁶ définissent le SCM comme une méthodologie développée pour aligner les activités de production de façon synchrone, visant à réduire les coûts, à minimiser les cycles et à maximiser la valeur perçue par le client final par le biais de perturbations des barrières entre les départements et les régions.

Bowersox, Closs et Cooper (2010), « le but de SCM est de mettre à la disposition des produits et des services à l'endroit où ils sont nécessaires, au moment où ils sont désirés ».⁴⁷

Avec une approche différente, Metz (1998)⁴⁸ estime que le SCM est un processus orienté, avec une approche intégrée, pour l'achat, la production et la livraison de produits et de services aux consommateurs. Ce processus comprend les fournisseurs de plusieurs couches, les opérations internes, les opérations commerciales, le commerce de gros/de détail et les consommateurs finals. Il couvre également la gestion des matériaux, des informations et des flux connexes. Pour Metz (1998) ce processus intégré n'est possible que grâce à l'utilisation des technologies de l'information (TI), considérée comme fondamentale pour le développement du SCM. La technologie, selon l'auteur, devrait également être appliquée à la fabrication et au transport, de sorte qu'il soit possible d'intégrer les participants et les processus de la chaîne.

⁴⁶ Zuffo, P.K., Wood Jr., T. (1998). Supply Chain Management. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 38(3), 55-63. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-75901998000300007>

⁴⁷ Bowersox, D.J., Closs, D.J. et Cooper, M.B. (2010). *Supply Chain Logistics Management*. (4th ed.). McGraw-Hill.

⁴⁸ Metz, P.J. (1998). Demystifying Supply Chain Management. *Supply Chain Management Review*. vol. 1, num. 4. https://www.lomag-man.org/supply%20chain%20dossier/documentation_telech/SCMReview_DemystifyingSupplyChainMan-Peter.J.Metz1.1.98.pdf

Renforcer l'importance de l'information et de la TI, Chopra et Meindl (2011)⁴⁹, où l'information est essentielle pour prendre de bonnes décisions en matière de chaîne d'approvisionnement dans les trois niveaux de décision (stratégie, planification et opérations) et dans chacun des autres facteurs de chaîne (installations, stock, transport, *sourcing* et tarification). Il permet non seulement la collecte de ces données pour créer une visibilité de la chaîne, mais aussi l'analyse de ces données afin que les décisions prises maximisent la rentabilité.

Dans l'industrie aérospatiale, 70 à 80 % de la valeur ajoutée d'un avion sont produits par les fournisseurs (Conseil National de l'Industrie Française, 2015). Les prévisions de marché indiquent qu'en 2020 Boeing et Airbus doivent livrer 1 830 avions, soit une augmentation de 45 % par rapport aux 1 266 jets livrés en 2013. Les deux plus grands fabricants informent leurs fournisseurs qu'ils devraient assumer un risque plus élevé de développement, investir dans l'expansion de capacité, fournir le stock seulement si nécessaire et vendre à des prix inférieurs. Une réduction de 15 % à chaque étape d'un programme d'aéronef est standard.⁵⁰

La pression que les fournisseurs de composants reçoivent des fabricants, en ce qui concerne le développement de produits, les prix et les délais de fabrication, est naturellement répercutée sur leurs fournisseurs tout au long de la chaîne aéronautique.

Selon Viana (2011) l'une des premières mesures pratiques, valable jusqu'à aujourd'hui, pour résoudre le problème de la quantité et le moment de réapprovisionnement a été à l'adoption de procédures telles que le degré de contrôle, la

⁴⁹ Chopra, S. et Meindl, P. (2011). *Gestão da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operações* (4e éd.). Pearson Prentice Hall.

⁵⁰ Hollinger, P. (2016, 26 juillet). Airbus and Boeing put pressure on supply chain. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/e0d51872-516c-11e6-9664-e0bdc13c3bef>

taille du stock et la quantité de reconstitution, guidé par critères de classification ABC (méthode de catégorisation des stocks).⁵¹

La rupture de stock est plus reconnue comme un problème critique, tant pour les chercheurs comme par pratique (Scarpin, Sakaguti et Steiner 2011, p. 144).⁵² Selon da Silva (2013) :

Bien que les tentatives de remédier aux ruptures constituent un élément de gestion important, elles peuvent être insuffisantes, en raison de la création continue de nouveaux produits, de la réduction du cycle de vie des services et principalement des problèmes opérationnels de la chaîne de l'approvisionnement, la rupture sera à peine éliminée. Par conséquent, les ruptures devraient être gérées avec une combinaison de mesures et de ressources destinées à réduire leurs occurrences.⁵³

Hong *et al.* (2009) rapporte que : « Il est courant de trouver des situations où le manque de coordination avec les fournisseurs pendant les projets de développement de produits a entraîné des retards dans l'introduction des produits et des coûts de développement accrus. » Par exemple, Boeing a subi un retard dans la livraison de son large jet de fuselage (le 787 Dreamliner). Boeing a attribué une grande partie du retard aux « défis de la chaîne d'approvisionnement » et aux « difficultés des fournisseurs à réunir tous les éléments » (Lunsford, 2008, p. A3, cité dans Hong *et al.*, 2009). Selon Lunsford (2007, cité dans Hong *et al.*, 2009) :

Avec 787, Boeing a reformulé son processus de conception, ce qui a fait que les fournisseurs prennent un rôle plus important dans le

⁵¹ Viana, J.J. (2011). *Administração de Materiais: Um Enfoque Prático*. Atlas.

⁵² Scarpin, C.T., Sakaguti, F.Y. et Steiner, M.T.A. (2011). Uma proposta de planejamento estratégico para a reposição de produtos nas lojas de uma rede supermercadista. *Revista Brasileira de Estratégia*, v.4, p. 141-153. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/26812>

⁵³ da Silva, R.M. (2013, mars). *O Supply Chain como Ferramenta de Planejamento Estratégico, no Gerenciamento de Estoques, para o Monitoramento da Ruptura de Estoque no Varejo*. [Travail conclusion microprogramme de 2e cycle en administration industrielle, Universidade Estadual de Londrina].

processus de conception et de fabrication. Les vendeurs de Boeing sont devenus des partenaires de partage de risque qui ont investi plus à l'avance et, en contrepartie, les fournisseurs ont été récompensés par des contrats importants pour diverses sections de l'avion. Des sections d'avions ont été construites au Japon, en Italie et aux États-Unis. Malgré tous les efforts des experts de Boeing qui ont vécu sur la route pendant plus d'un an pour résoudre des problèmes dans les usines lointaines.

Le Wall Street Journal (cité dans Hong *et al.*, 2009) a rapporté que Boeing avait moins de contrôle sur les progrès du programme Dreamliner que jamais dans le développement d'avions précédents.

L'émergence de boosters mondiaux, tels que les clusters technologiques et des zones de fabrication à faible coût, modifie la structure des chaînes d'approvisionnement en évolution. Les OEMs (équipementiers) qui adoptent cette tendance à tirer profit des avantages tels que la minimisation des coûts et l'optimisation de leurs activités de fabrication par le biais de nouvelles technologies exposent leurs chaînes d'approvisionnement à une dépendance excessive à l'égard de la base de sous-traitance. Même si cela semble faire revivre vos marges de revenus qui se réduisent de plus en plus, cela signifie amplifier la probabilité d'utiliser des sources non approuvées, résultant de la volonté d'impliquer des fournisseurs à faible coût. À cet égard, les équipementiers perdent le contrôle de leur SC au fur et à mesure que le réseau s'étend aux sous-traitants de deuxième et de troisième niveau. Bien qu'il soit possible d'évaluer de façon proactive le risque inhérent de la chaîne et de développer des plans d'urgence, il soumettra les calendriers de production à des retards (Sodhi et Tang, 2012).⁵⁴ Ceci est affiché par les livraisons tardives du Boeing

⁵⁴ Sodhi, M.S. et Tang, C.S. (2012). *Managing Supply Chain Risk - International Series in Operations Research & Management Science* (vol. 172). Springer.

787 et du modèle A380 lorsque Boeing et Airbus ont perdu le contrôle actif des canaux de production de deuxième niveau.

Les avionneurs sont les intégrateurs (gestionnaires) de la chaîne d'approvisionnement aéronautique. Le SCM implique le processus de planification, de mise en œuvre et de contrôle des opérations de SC. En ce qui concerne la fabrication d'avions, qui sont des projets complexes, la gestion de la chaîne d'approvisionnement est essentielle à l'avancement approprié du projet. Dans le déroulement de l'étude, il sera démontré qu'il y a eu des défaillances et/ou d'absence par les OEMs dans le SCM. Habituellement, les mots défaillance et absence sont généralement considérées comme synonymes, mais il y a une différence entre eux, la défaillance « est un acte, une procédure ou un processus qui n'a pas été exécuté correctement, il y avait donc un contrôle ou une supervision de quelque chose qui n'a pas été correctement exécuté », déjà par absence la définition est « même si nous avons une certaine procédure de contrôle le processus a été négligé », c'est-à-dire, qu'il n'y a pas eu de contrôle ou de supervision, grosso modo on peut utiliser l'expression Laissez-faire (laissez le fournisseur faire ; moins vous interviendrez, mieux ce sera).

Selon Lewis, Dehler et Green (2002) depuis plus de 30 ans, les chercheurs ont cherché à découvrir les éventualités qui affectent la performance du développement de produits. Des révisions récentes (p. ex. Brown & Eisenhardt, 1995 ; Montoya-Weiss & Calontone, 1994) ont catalogué des études de facteurs de projet (tels que la nouveauté et la portée), des facteurs organisationnels (tels que la structure et la composition de l'équipe) et des facteurs environnementaux (tels que le marché potentiel), soulignant leurs résultats mitigés. Cette documentation met en relief les tensions entourant la conception de produits : les gestionnaires de projets doivent faire face à de multiples éventualités et souvent conflictuelles et fluctuantes, dans la mesure où ils cherchent à promouvoir l'innovation et l'efficacité. Les tensions ne peuvent être éliminées parce qu'elles sont

inhérentes aux activités de développement de produits et contribuent à stimuler le processus d'innovation (Dougherty, 1996 : 430, cité dans Lewis *et al.*, 2002).⁵⁵

Selon Chaudhuri, Boer et Taran (2018) avec des chaînes d'approvisionnement de plus en plus complexes, internationales et dynamiques, l'importance de la gestion des risques liés à la chaîne d'approvisionnement, en anglais, Supply Chain Risk Management (SCRM) et l'intégration de la chaîne d'approvisionnement est de plus en plus reconnue dans la pratique et la théorie. Alors que l'agilité de la SC est une capacité axée sur l'extérieur, la souplesse, une compétence axée sur l'interne peut être considérée comme son antécédent (Braunscheidel et Suresh, 2009). Cela suggère qu'il devrait y avoir une relation entre le SCRM et la flexibilité.⁵⁶

Le SCRM, l'exécution des opérations et en particulier, la souplesse sont des points clés de la gestion de la chaîne. L'agilité est une capacité de focalisation externe (fournisseurs et clients) et la flexibilité, une compétence centrée sur l'interne des organisations.

Selon Chaudhuri *et al.* (2018) la recherche sur l'incidence de l'intégration sur le rendement a porté sur une grande variété d'indicateurs de rendement. Bien qu'il y ait quelques exceptions (p. ex., Braunscheidel et Suresh, 2009 ; Wong *et al.*, 2011 ; Schoenherr et Swink, 2012), la flexibilité est relativement peu étudiée, en particulier dans les études établissant un lien entre la collaboration et l'intégration, et le risque et le rendement (Kache et Seuring, 2014).

⁵⁵ Lewis, M., Welsh, M., Dehler, G., & Green, S. (2002). Product Development Tensions: Exploring Contrasting Styles of Project Management. *The Academy of Management Journal*, 45(3), 546-564. <https://www-jstor-org.biblioproxy.uqtr.ca/stable/3069380>

⁵⁶ Chaudhuri, A., Boer, H., & Taran, Y. (2018). Supply Chain Integration, Risk Management and Manufacturing Flexibility. *International Journal of Operations & Production Management*, 38(3), 690-712. DOI: <http://dx.doi.org.biblioproxy.uqtr.ca/10.1108/IJOPM-08-2015-0508>

Une autre fonctionnalité qui devrait toujours être considérée comme un facilitateur et qui se transforme en un outil d'impact majeur dans l'intégration de la SC est la TI. Selon Micheli, Mogre et Perego (2014) l'atténuation des risques par l'adoption de la technologie de l'information pour partager les plans de production avec les fournisseurs réduit la gravité et la probabilité des perturbations de l'approvisionnement ainsi que la gravité et la possibilité des congestions dans les processus de production des fournisseurs, en ce qui concerne la flexibilité et l'impact sur la qualité.⁵⁷

⁵⁷ Micheli, G. J. L., Mogre, R. et Perego, A. (2014). How to choose mitigation measures for supply chain risks. *International Journal of Production Research*, 52:1, 117-129. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.828170>

CHAPITRE 3 - ÉTUDE DES RETARDS D'AÉRONEFS

3.1 RETARDS DU PROJET SPACEJET M90

En 2003, le gouvernement japonais a lancé une étude pour réactiver l'industrie aéronautique du pays, qui a été démantelée par les États-Unis après la Seconde Guerre mondiale. Pendant la guerre de Corée, le Japon a été autorisé à développer un avion civil fabriqué par Nihon Aircraft Manufacturing Corporation (NAMC) qui était le YS-11, un avion turbopropulseur qui a été produit de 1962 à 1974.

Pour ce projet, le gouvernement du Japon prévoyait de financer US\$ 420 millions en 5 ans pour la recherche et le développement d'un jet régional pour accueillir entre 30 et 90 passagers. La même année, la MHI a décidé de mener le projet et, le 1er avril 2008, elle a créé la MAC, dont les actionnaires sont MHI, Toyota Motors Corporation, Mitsubishi Corporation, Development Bank of Japan, Sumitomo Corporation et Mitsui et Corporation et ainsi naît le programme SpaceJet.⁵⁸

MHI est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de Boeing opérant dans la fabrication de matériaux qui sont utilisés sur les ailes du modèle Boeing 787 Dreamliner et le fuselage du modèle 777. En plus d'agir en tant que fournisseur de composants, MHI agit également dans le segment de la défense après avoir développé en partenariat avec Fuji Heavy Industries le modèle Mitsubishi F1,⁵⁹ puis coproduit avec Lockheed Martin, le modèle Mitsubishi F2 (basé sur le F16 Flight Falcon)⁶⁰ et actuellement dans un nouveau

⁵⁸ Sobie, B. (2003, 28 avril). MHI to lead on Japan's regional jet. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/mhi-to-lead-on-japans-regional-jet-/48048.article>

⁵⁹ LaMarca (2014, 27 octobre). Japão: Os projetos aeronáuticos mais importantes do "Império do Sol Nascente". *Cavok Asas da Informação*. <http://www.cavok.com.br/blog/japao-os-projetos-aeronauticos-mais-importantes-do-imperio-do-sol-nascente/>

⁶⁰ Staff Military Watch (2019, 5 février). Japanese Military to Star New Next Generation Fighter Program to Replace F-2 Multirole Jets. *Military Watch*. <https://militarywatchmagazine.com/article/japanese-military-to-start-new-next-generation-fighter-program-to-replace-f-2-multirole-jets>

partenariat avec Lockheed Martin réalise le montage de 38 unités du F-35, enfin en 2016 la MHI a présenté sa chasse expérimentale de technologie furtive, officiellement désignée Mitsubishi X2.⁶¹ En plus de l'exploitation d'avions militaires, MHI a développé et construit le jet exécutif MU-300 Diamond, qui a ensuite été acquis par l'avionneur américain Beechcraft qui l'a rebaptisé Beechjet 400.

Sur la base des informations ci-dessus, il apparaît que MHI décide de prendre la tête du programme pour la conception et la fabrication de jets régionaux proposés par le gouvernement japonais ; il avait déjà une grande expérience tant dans la fourniture de composants pour Boeing que dans l'assemblage et/ou le développement d'aéronefs exécutifs et militaires. Alors pourquoi votre programme de jets régionaux est-il retardé de 8 ans ? Les 6 sous-chapitres suivants décrivent les raisons de ce retard.

3.1.1 Premier retard

Le premier retard a été annoncé le 9 septembre 2009, pour accueillir des modifications dans la conception du cockpit (cabine de pilotage) et la fabrication de la *windbox* (caisson d'aile), en optant pour l'utilisation d'aluminium au lieu de matériaux composites. Ces changements ont eu une incidence sur le calendrier du premier vol qui avait été modifié du quatrième trimestre 2011 au deuxième trimestre 2012, entraînant un retard de 6 mois dans la livraison du premier avion, qui a été reporté au premier trimestre de 2014.⁶²

Des améliorations ont également été annoncées dans le projet original pour répondre aux suggestions et commentaires des clients potentiels. La hauteur de la cabine a été modifiée de 1,5 pouce, de l'augmentation de la même proportion à la hauteur de

⁶¹ Staff Military Weapons (2020, 10 janvier). Mitsubishi X-2 (ATD-X / Shinshin) - 5th Generation Fighter Technology Demonstrator Aircraft. *Military Weapons*. https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=1084

⁶² Polek G. (2009, 9 septembre). Mitsubishi to Delay MRJ First Flight. *AINonline*. <https://www.ainonline.com/aviation-news/2009-09-09/mitsubishi-delay-mrj-first-flight>

distance entre la tête du passager et le compartiment à bagages, ce qui a permis une augmentation de 12 % de stockage de celui-ci. Le compartiment cargo de l'avion a été unifié en un seul compartiment afin de faciliter la manutention des bagages.

Des retards dans les projets de nouveaux modèles d'avions se sont produits chez les quatre plus grands constructeurs d'aéronefs (Boeing 787, Airbus A380, Embraer KC-390, Bombardier CSeries) ainsi que dans d'autres OEM de composants d'avion, comme des turbines, où les principaux fabricants ont déjà eu des retards dans le développement et la fabrication de leurs nouveaux produits, citant les cas de Pratt et Whitney (Pure Power), CFM International (LEAP), General Electric (GEnx) et Rolls-Royce (Trent XWB), car lors de l'exécution de certaines étapes d'un projet, en général, celles qui imposent des innovations technologiques, il est acceptable qu'il y ait quelques retards.

3.1.2 Deuxième retard

En le 25 avril 2012, la MAC a indiqué que le premier vol avait été retardé du deuxième trimestre 2012 au troisième trimestre de 2013 et la livraison du premier aéronef au quatrième trimestre 2015.⁶³

Dans cette annonce, la MAC n'a pas indiqué spécifiquement les raisons du nouveau retard, mais dans un courriel transmis à AIN Publications, une société de médias spécialisés dans l'aviation, il a été rapporté que : « Mitsubishi Aircraft effectue un contrôle de qualité méticuleux de chaque processus, non seulement pour la fabrication de l'avion, mais aussi pour tous les processus de développement », a-t-il déclaré. « Notre principal partenaire, [MHI], mène ce que nous appelons [un] 4M Check [homme, machine, matériel, méthode] pour les processus sous la structure de gestion de contrôle de Mitsubishi Aircraft ». Nous pouvons constater qu'à la mi-2012 déjà, la MHI examinait les

⁶³ Polek, G. (2012, 25 avril). Latest MRJ Delay to Last At Least a Year. *AINonline*. <https://www.ainonline.com/aviation-news/2012-04-25/latest-mrj-delay-last-least-year>

informations relatives au projet SpaceJet réalisé par la MAC. L'utilisation du 4M Check, également connu sous le nom de Diagramme d'Ishikawa, ou Diagramme de Cause et d'Effet ou encore Diagramme Arête de Poison, est un outil de qualité qui permet d'organiser le raisonnement dans les discussions d'un problème prioritaire, dans des processus divers, en particulier dans la production industrielle. C'est donc un outil d'analyse de dépannage qui permet une visualisation rapide et simplifiée des variables possibles qui occasionnent une adversité. L'outil 4M est très utilisé dans la méthodologie Six Sigma.

Dans le même message, la compagnie a dit qu'elle « a pris du temps » pour répondre aux critères « les plus récents » pour l'analyse et la validation de toutes les nouvelles technologies, comme le fuselage à faible traînée et l'aile à haut rapport d'aspect. « Lors de la mise au point d'un aéronaf, non seulement la spécification de chaque processus, mais aussi la spécification de vérifier la validité de ces processus sont devenues nécessaires », a déclaré Mitsubishi. « Nous sommes tenus de signaler et d'archiver ces processus par écrit. Ces travaux ont pris plus de temps que prévu. »

À ce stade, nous pouvons vérifier qu'il y avait déjà des signes de problèmes dans le programme SpaceJet. Selon Pépin (2014) : ⁶⁴

Dans les organisations il est possible de distinguer deux catégories d'activités : les opérations courantes et les projets. Alors que les opérations courantes impliquent des activités à caractère répétitif telles que l'approvisionnement et la transformation des ressources en produits et services, les projets impliquent des activités non répétitives comme le développement de nouveaux produits, services ou processus. En fait, les opérations courantes se concentrent sur les activités quotidiennes de

⁶⁴ Pépin, R. (2014). *Les équipes de projet haute performance comment les bâtir? : comment les diriger?* (Nouveau tirage (éd. rev. et corr.), Ser. Management, 273-8). Les Éditions SMG.

l'organisation, alors que les projets mettent l'accent sur l'innovation et le changement.

Sur la base de l'étude de Pépin (2014), nous pouvons constater qu'il y a des indications de problèmes dans les deux catégories d'activités du programme. Les opérations courantes, comme celle du projet, impliquant les procédures, les activités et les tâches des domaines de l'ingénierie, de la fabrication et de l'administration, indiquent que le programme souffre de lacunes et d'erreurs de direction, de coordination et de contrôle qui influent sur les résultats du projet.

Dans un nouvel article publié le 22 août 2012 d'AIN Publications, il est constaté que le programme a subi un revers d'environ un an et demi après la défaillance de MHI en documentant correctement les processus d'ingénierie et de production.⁶⁵

Cette interruption plutôt abrupte est venue à la demande du Japan Civil Aviation Bureau (JCAB), qui, avec la FAA des États-Unis et l'EASA de l'Europe, est responsable de la délivrance de la certification de type et de production de l'avion. Depuis l'intervention de la JCAB, MHI a dû reconditionner pratiquement toutes les pièces du premier prototype.

Il est bien connu que l'industrie aéronautique est l'un des secteurs industriels où le processus de développement et de fabrication des composants et des avions possède un processus de certification de très haute exigence technique et de qualité. Tant la FAA et la EASA ont des règles et des normes qui doivent être suivies tout au long de la chaîne d'approvisionnement aéronautique, depuis une vis, en passant par le fuselage, moteurs, systèmes avioniques et à venir à l'assemblage de l'avion, il est nécessaire de suivre plusieurs processus et procédures pour que la certification d'un nouveau produit et service

⁶⁵ Polek, G. (2013, 22 août). Mitsubishi Aircraft Delays MRJ For a Third Time. *AINonline*. <https://www.ainonline.com/aviation-news/2013-08-22/mitsubishi-aircraft-delays-mrj-third-time>

ait lieu. Ces normes et règles sont comme un guide qui doit être entendu, compris et suivi à la lettre pour que le processus de certification se produise sans troubles. La certification des aéronefs s'est appuyée sur l'échange d'informations et de données techniques. Nous avons vu que, malheureusement, dans le cas du programme SpaceJet, il y avait un manque évident de compréhension, d'importance et de difficulté de la part du MAC dans la réalisation des activités prévues et nécessaires à l'exécution des jalons et des tâches du projet.

3.1.3 Troisième retard

Le 22 août 2013 la MAC a annoncé le troisième retard du programme SpaceJet, le premier vol a été modifié pour se produire au deuxième trimestre de 2015 (il devait se produire au troisième trimestre de 2013) et la livraison du premier avion a été reportée au deuxième trimestre de 2017.⁶⁶ Le nouveau retard est dû à des difficultés pour répondre aux normes de sécurité japonaises. Dans une déclaration un peu floue, Mitsubishi a expliqué que la conception et la certification ont pris plus de ressources que prévu, ce qui, à son tour, a affecté les livraisons des composants et la fabrication des aéronefs. Les nouveaux calendriers tiennent compte du « respect des normes de certification de sécurité respectives. » La compagnie a déclaré qu'elle avait commencé à assembler les premières cellules d'essai en vue des essais au sol et en vol.

Plus tard, le 30 août 2013, dans un entretien téléphonique avec des journalistes, le chef des ventes de la société, Yugo Fukuhara, a déclaré que le biréacteur régional Mitsubishi MRJ est le premier avion à mettre pleinement en œuvre le système d'autorisation de désignation d'organisation (Organization Designation Authorization (ODA) en anglais) de la FAA des États-Unis, qui est entré en vigueur en 2009. L'ODA a été partiellement appliquée au programme du Boeing 787, lorsque Boeing s'est vu

⁶⁶ Polek, G. (2013, 22 août). Mitsubishi Aircraft Delays MRJ For a Third Time. *AINonline*. <https://www.ainonline.com/aviation-news/2013-08-22/mitsubishi-aircraft-delays-mrj-third-time>

déléguer certaines responsabilités pour l'exécution d'essais visant à démontrer que la batterie lithium ion de l'avion répondait aux exigences de navigabilité.⁶⁷

Dans le cadre du système ODA, Mitsubishi est déléguée à l'autorité de concevoir, de tester et d'analyser les procédures d'essai et les résultats pour montrer les exigences de navigabilité. Cela signifie qu'elle doit également investir beaucoup de temps et de ressources pour élaborer les processus nécessaires.

« Avec ce nouveau système, tous les processus internes de conception et de fabrication doivent être documentés à l'avance et approuvés par les autorités. Nous devons créer de nouveaux processus pour valider la conformité non seulement pour nous-mêmes, mais aussi pour tous nos partenaires de composant », dit Fukuhara. « Nos partenaires sont conscients de ce nouveau système, mais nous devons intégrer l'ancien système dans nos nouveaux processus, et cela demande beaucoup de temps. (Toh, 2013a) »

« Bien sûr, ce nouveau système ODA est arrivé en 2009, nous le connaissons conceptuellement, mais il a fallu plus de temps que prévu », ajoute-t-il. « Nous espérons que c'est le dernier retard que nous annonçons », dit Fukuhara (Toh, 2013a).

Le troisième retard de SpaceJet a continué d'être causé par des problèmes de gestion de projet et des erreurs de conception, comme l'a signalé le Président-Directeur General (PDG) chez MAC Teruaki Kawai à Reuters « Le retard étaient dues à la sous-estimation de la société du temps dont elle avait besoin pour déterminer comment valider la sécurité du processus de fabrication du jet et de ses composants, et non à des problèmes avec des fournisseurs spécifiques. »⁶⁸

⁶⁷ Toh, M. (2013a, 30 août). MRJ attributes programme delay to US FAA's delegation process. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/orders-and-deliveries/mrj-attributes-programme-delay-to-us-faas-delegation-process/110954.article>

⁶⁸ Kubota, Y. (2013, 22 février). Mitsubishi Aircraft delays regional jet delivery 2017. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-mitsubishi-jet-idUSBRE97L09720130822>

Selon la cinquième édition 2013 du Guide PMBOK (Project Management Body of Knowledge) du PMI « la gestion de projet est l'application des connaissances, des compétences, des outils et des techniques aux activités d'exigences du projet. »

Nous pouvons constater que la troisième annonce de retard dans le programme SpaceJet déjà explicitement démontré qu'il y avait des problèmes liés à l'application des connaissances et des compétences dans la conduite du projet. Le chef des ventes de MAC de l'époque, Fukuhara, a annoncé qu'il espérait que ce serait le dernier retard du projet, et contrairement à cette annonce, il y a eu trois autres retards. Suivant la définition de la gestion de projet du PMBOK, la MHI aurait dû agir en embauchant des consultants et des personnes ayant une expérience antérieure dans le processus de certification des aéronefs, la décision n'est prise qu'en 2015 avec le début de l'embauche de personnes ayant une vaste expérience dans le secteur aéronautique.

3.1.4 Quatrième retard

Lors d'une conférence de presse qui s'est tenue le 24 décembre 2015 à Nagoya, au Japon, la MAC annoncé que la livraison du premier avion a été modifiée au deuxième trimestre de 2018.

Le nouveau retard selon la MAC était dû à des problèmes techniques et de gestion, y compris la force insuffisante des ailes. Lors de cette conférence, le vice-président principal de la société, Nobou Kishi, a déclaré que « L'objectif de livraison précédent (deuxième trimestre 2017) était naïf et basé sur la connaissance incomplète. »⁶⁹

Après le premier vol, qui a eu lieu le 11 novembre 2015, un problème majeur concerne l'aile principale de l'avion. Afin d'obtenir la certification de type au Japon, la

⁶⁹ Staff Nikkei Business (2015, 25 décembre). Delivery delayed further by weak wing. *Nikkei Asian Review*. <https://asia.nikkei.com/Business/Companies/Delivery-delayed-further-by-weak-wing>

structure du jet doit pouvoir supporter 50 % de poids en plus par rapport à un vol normal. Des améliorations supplémentaires sont nécessaires pour garantir que l'aile atteindra cette marque. Les roues et les trains d'atterrissage « doivent également être repensés pour une meilleure sécurité », a déclaré Kishi. Le système de commande de vol fera également l'objet de tests supplémentaires et son logiciel sera amélioré.

En plus des problèmes d'ordre techniques et de l'ingénierie, MAC a fait face au premier problème lié à la fourniture d'un composant de son jet, selon Kishi, « MAC travaille avec son fournisseur pour réviser le calendrier de livraison des moteurs ». Certains soupçonnent que MAC, un nouveau venu dans l'industrie aérospatiale, a du mal à établir des relations solides avec des fournisseurs bien établis, y compris Pratt & Whitney, le fournisseur de moteurs. Toutefois, ce qui s'est produit, c'est un retard dans le calendrier de certification du moteur par le fournisseur, le retard dans la certification n'a causé aucun retard dans le développement de l'avion.

Cependant, lors de cette conférence il y a finalement eu la première déclaration publique et la reconnaissance par le MAC qu'en plus des problèmes techniques, il y avait un autre facteur aggravant lié aux retards du programme, Hiromichi Morimoto, président de la société, a indiqué que les retards dans la prise de décision par les dirigeants semblent également avoir pesé sur l'avion. « Nous progressons toujours et nous n'avons souvent pas la capacité de prendre des mesures décisives », a-t-il déclaré. « Nous n'avons souvent pas été en mesure de prendre des décisions rapides lorsque le moment est venu de le faire ».

Morimoto, également vice-président exécutif de MHI, a été installé à la tête de l'avionneur en avril de 2015. Cela et d'autres changements ont permis à MHI de s'impliquer davantage dans le développement du SpaceJet, qui était jusque-là géré principalement par MAC. Le remaniement visait à pousser l'avion vers la commercialisation, mais a finalement conduit « Tout le monde et toute personne à donner

leur propre opinion sur les questions de sécurité et à embourber la prise de décision sur les questions budgétaires », a déclaré un cadre de MHI.⁷⁰

La livraison de l'avion devient de plus en plus urgente, a noté Morimoto, mais il a concédé que même le nouvel objectif de 2018 « est difficile à garantir ». Des accroc imprévus pourraient encore se profiler alors que l'avion historique attend son décollage.

Dans l'annonce du quatrième retard du programme, le président de MAC lui-même reconnaissait déjà qu'il serait difficile de garantir qu'un nouveau retard dans le projet ne se produirait pas à l'avenir, en mentionnant que des événements imprévus pourraient se produire et que la livraison du premier avion est devenu de plus en plus urgente, très probablement en raison de la perte de l'avantage concurrentiel que le projet a présenté à son début en 2008. En 2011, Embraer a annoncé le développement de versions renouvelées de son programme E-Jets, utilisant les moteurs Pure Power de Pratt & Whitney et d'améliorations des matériaux de fuselage, de nouvelles ailes et de l'avionique. La partie budgétaire du programme a également fait l'objet de vives préoccupations, car la somme des retards a pesé et gonflé les coûts du projet.

En ce qui concerne les adversités liées à la gestion du programme, probablement en raison du manque de connaissances, d'expérience et de maturité dans la gestion des projets, qui, dans le cas de la MAC, a profondément affecté la conception, le développement et la fabrication de SpaceJet. MAC a commencé à embaucher de nouveaux collaborateurs, pour la plupart étrangers, avec une vaste expérience dans le segment aéronautique à tous les niveaux fonctionnels. Depuis 2016, l'entreprise a ajouté 300 employés ayant de l'expérience dans la construction d'avions civils et la gestion de projets.⁷¹

⁷⁰ Staff Nikkei Business (2015, 25 décembre). Delivery delayed further by weak wing. *Nikkei Asian Review*. <https://asia.nikkei.com/Business/Companies/Delivery-delayed-further-by-weak-wing>

⁷¹ Gale, A. (2018, 10 juillet). The Pressure is on for Japan's First Jetliner. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/the-pressure-is-on-for-japans-first-jetliner-1531231202>

MAC a engagé plusieurs professionnels pour la haute direction de l'entreprise, provenant de la concurrence. De Bombardier sont venus cinq nouveaux collaborateurs. Le premier est David Barrow qui a commencé ses activités en 2015, agissant dans la transformation du programme en équipe multidisciplinaire et dans l'établissement des capacités techniques visant à mettre en place le programme aéronautique. Les deuxième et troisième sont Alex Bellamy et James Sykes, ceux qu'ont commencés a travaillé en 2016. Bellamy a travaillé chez Bombardier en tant le gérant des équipes d'essais en vol et directeur de l'ingénierie du CSeries (actuel A220), et Sykes a occupé divers postes de direction en ingénierie pour les programmes de développement de nouveaux produits et d'entretien, ainsi que dans le domaine du soutien à la clientèle sur chez Bombardier. Le quatrième est Henry Tam, qui s'est joint à société en 2017 en qualité de responsable de la stratégie des produits et le dernier c'est Christopher Anderson qui s'est joint à l'équipe en 2018, qui avait travaillé en divers postes de gestion pour le programme CSeries.⁷²

Avec des passages par Boeing sont venus Andrew Telesca, Peter Faulkner et Steve Haro. Telesca s'est joint au bureau de la gestion des programmes de l'entreprise en janvier 2017. Faulkner s'est joint à MAC en 2018 en tant que responsable de l'intégration des TI et a dirigé l'initiative encadrant la stratégie numérique. Haro il s'est joint à l'entreprise en février 2019 comme responsable de l'élaboration de stratégies visant à maintenir la compétitivité de l'entreprise à long terme.

Nelson Jabour s'est joint à compagnie en octobre 2017 en qualité de responsable de l'entretien et du soutien technique. Avant de se joindre à MAC, Jabour a travaillé pendant 17 ans pour Embraer.

Avec une expérience professionnelle chez les fournisseurs et les compagnies aériennes, chez MAC embauché Andrew Bottomley, qui a commencé en 2017 à titre de directeur de l'ingénierie et a mené la mise en œuvre et la restructuration organisationnelle

⁷² Mitsubishi Aircraft Corporation. À propos. <https://www.mitsubishiaircraft.com/fr/about>

des équipes intégrées des produits. La même année, Steven Mood s'est joint à Mitsubishi Aircraft en 2017, ayant comme mandat de réorienter et d'obtenir l'engagement des acteurs de la SC et Antonio Cortés qui s'est joint à l'entreprise en 2018, travaille à la tête du bureau de gestion de la sécurité des vols.

3.1.5 Cinquième retard

Le cinquième retard a été annoncé le 23 janvier 2017 par un communiqué conjoint entre MHI et la MAC, succinct et sans détails, il a été signalé que le nouveau retard est dû aux révisions de certains systèmes et configurations électriques de l'aéronef pour répondre aux dernières exigences de certification. Le cinquième retard reporté la livraison du premier avion à la mi-2020.⁷³

Deux mois après l'annonce du cinquième retard MHI a annoncé que le PDG chez MAC aux États-Unis, Masao Yamagami, et huit autres hauts dirigeants du programme ont quitté l'entreprise. Il a été officiellement signalé que les neuf membres étaient à la retraite, mais leur départ est lié à des changements internes majeurs qui ont été promus par le PDG chez MHI, Shunichi Miyanaga. Il s'est personnellement impliqué dans la MAC et a présidé un comité (MRJ Business Promotion Committee) qui superviserait les efforts du programme SpaceJet.⁷⁴

Le cinquième retard était lié à un échec criant de l'équipe initiale du projet SpaceJet. Dans une interview accordée à la chaîne d'information Leeham News and Analysis le 28 juillet 2017, Bellamy a rapporté :

Lorsque MAC a engagé Aerotec LLC de Seattle pour aider aux tests en vol et à la certification, l'équipe expérimentée d'Aerotec a commencé à

⁷³ Toh, M. (2017a, 23 janvier). Mitsubishi delays MRJ deliveries by two years. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/mitsubishi-delays-mrj-deliveries-by-two-years/122858.article>

⁷⁴ McIntosh, A. (2017, 29 mars). Nine senior Mitsubishi Aircraft execs are on their way out after lasted MRJ delays. *Puget Sound Business Journal*. <https://www.bizjournals.com/seattle/news/2017/03/29/mitsubishi-aircraft-execs-retirements-mrj-delay.html>

analyser comment le MRJ devrait être certifié. Ils ont rapidement constaté des problèmes avec les critères de sécurité de l'avionique et de son câblage. Les dommages causés par l'explosion / la pénétration d'une partie du moteur, les inondations d'eau (d'une rupture de la ligne de flottaison) et les dommages causés par le feu à l'avionique et à son câblage peuvent provoquer un point de défaillance unique.⁷⁵

Comme indiqué aux pages 37 et 38, le cinquième retard du programme aurait pu être évité tant que le MAC avait suivi les nouvelles normes imposées par National Transport Safety Board (NTSB) à la suite de l'écrasement du vol 800 de la TWA, mais la nouvelle norme de sécurité et de certification a été ignorée par le MAC. L'erreur d'ignorer cette nouvelle exigence peut être donnée à l'inexpérience et l'immaturation de l'entreprise par rapport aux exigences de certification, comme l'ont signalé Bellamy et Szymanowski : « On peut se demander comment cela a pu se produire ». Ils ont expliqué qu'il est presque impossible de comprendre tous les critères de certification d'un aéronef, si on n'y est pas passé une ou deux fois. Le SpaceJet est la sixième certification de Bellamy et Szymanowski.

Même face à l'explication de Bellamy et Szymanowski sur la complexité du processus de certification d'un avion, il est difficile d'accepter que tant de défaillances et d'erreurs se soient produites dans le programme SpaceJet, comme l'a rapporté Reuters le 17 avril 2017. M. Fukuhara a déclaré que : « Quatre des cinq retards jusqu'à présent ont été causés dans une certaine mesure par des manquements similaires à documenter les travaux de certification, forçant les ingénieurs à refaire une partie de leur travail », a-t-il

⁷⁵ Fehrm, B. (2017, 28 juin). MRJ entering more stable phase. *Leeham News and Analysis*. <https://leehamnews.com/2017/06/28/mrj-entering-stable-phase/#comments>

déclaré. Face à cette difficulté, l'entreprise embauche d'anciens ingénieurs de Boeing et d'autres experts étrangers pour l'aider à mieux naviguer les règles de la FAA.⁷⁶

3.1.6 Sixième retard

Ce qui serait apparemment peu probable, surtout après les reformulations de l'équipe technique et de gestion du MAC et basés sur la progression et la stabilité des tests de vol du SpaceJet M90, le sixième retard du projet d'avion a été annoncé le 6 février 2020, lors de la divulgation des résultats financiers 2019 de la MHI. Il a été informé que la MAC s'attend à ce que la livraison du premier avion commence au cours de l'exercice fiscal 2021 (au Japon l'exercice est d'avril à mai de l'année suivante), c'est-à-dire que le premier avion est prévu pour être livré à un moment quelconque entre avril 2021 et mars 2022.

La raison de ce nouveau retard est due au retard dans la certification de l'avion, lors de la séance d'information financière, le porte-parole de la MAC, Jeff Dronen, a déclaré : « Il est devenu clair que nous n'obtiendrons pas la certification à l'EF2020 ».⁷⁷

Le retard dans la certification de l'avion est lié au travail de la JCAB. Selon les analystes, il est probable que le nouveau retard est lié au fait que JCAB certifiera le premier appareil fabriqué au Japon en 50 ans, même avec le soutien de la FAA, on croit que l'agence japonaise prend toutes les précautions pour ne pas commettre les mêmes erreurs que la FAA a présentées dans la certification du Boeing 737 MAX. Pendant le processus de correction de la planification du calendrier de SpaceJet, effectué pour informer le cinquième retard, le MAC s'est contenté de prévoir et d'agir pour résoudre

⁷⁶ Kelly, T. et Shiraki, M. (2017, 17 avril). Japan jet may not make money, but aims to revive dormant industry. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-japan-aerospace-mrj-analysis/japan-jet-may-not-make-money-but-aims-to-revive-dormant-industry-idUSKBN17J1ST>

⁷⁷ Gates, D. (2020b, 6 février). Costs mount as Mitsubishi SpaceJet is delayed again. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/costs-mount-as-mitsubishi-spacejet-is-delayed-again/?amp=1>

tout problème qui pourrait survenir lors de la certification du projet. L'élaboration du nouveau calendrier s'est appuyée sur l'expérience des certifications récentes d'autres aéronefs et a veillé à ce qu'il y ait une marge de manœuvre dans les délais pour résoudre tout événement prévu et imprévu qui pourrait affecter le travail. Mais les pratiques de travail de JCAB sont plus complètes et plus élaborées que celles de Transport Canada ou FAA, par conséquent, les hypothèses de planification fondées sur des certifications antérieures étaient partiellement applicables.⁷⁸

Bjorn Fehrm (2019) auteur du reportage de Lehmann rapporte :

Ayant vécu la culture de travail japonaise dans ma carrière, je sais que vous ne pouvez pas changer la voie du progrès lorsque vous travaillez dans un projet conjoint. Il suffit d'accepter la façon japonaise et de laisser les choses prendre plus de temps. En fin de compte, les gains de résultat, chaque détail est analysé méticuleusement. Mais il s'agit d'une expérience de beaucoup de travail.

Depuis le quatrième semestre 2019, MAC savait déjà qu'il y aurait un nouveau retard. En 26 novembre 2019, le PDG de MHI, Seiji Izumisawa a déclaré : « Étant donné l'état actuel du processus, c'est-à-dire que nous revoyons le calendrier pour déterminer quel sera le calendrier, tout devient hypothétique. Nous pouvons, nous ne pouvons pas [livrer d'ici-là mi-2020], mais je ne peux tout simplement pas m'y engager »⁷⁹, par conséquent, l'entreprise n'attendait qu'une occasion de faire l'annonce officielle.

⁷⁸ Fehrm, B. (2019, 23 octobre). Mitsubishi's M90 faces delay amid elaborate certification. *Leeham News and Analysis*. <https://leehamnews.com/2019/10/23/mitsubishis-m90-faces-delay-amid-elaborate-certification/>

⁷⁹ Staff CH-Aviation (2019, 26 novembre). Mitsubishi non-committal on SpaceJet debut in mid-2020. *CH-Aviation*. <https://www.ch-aviation.com/portal/news/83745-mitsubishi-non-committal-on-spacejet-debut-in-mid-2020>

La pandémie de Covid-19 qui touche l'ensemble de l'industrie mondiale du transport aérien a également frappé Mitsubishi. Le 15 juin 2020, il a été annoncé qu'Alex Bellamy quitterait son poste et le 1er juillet 2020 il prendrait la relève de Yasuhiko Kamaguchi. Afin de réduire les coûts, MHI a décidé de fermer le siège social de MAC aux États-Unis (Renton) et le centre d'essais en vol à Moses Lake, le centre de développement nouvellement ouvert à Montréal et plusieurs bureaux de vente aux États-Unis et en Europe, en plus de réduire de moitié l'équipe de développement du M90 et M100. MAC a déclaré que son nouveau « plan opérationnel » a été « mis en œuvre par les changements importants dans l'industrie de l'aviation et les répercussions de la Covid-19 sur l'économie mondiale ». L'entreprise a déclaré que, pour « surmonter la crise actuelle », elle « réorganiserait ses priorités et réorienterait ses efforts du développement mondial vers la persévérance et la détermination à obtenir la certification de type sur son SpaceJet M90.⁸⁰

En fait, la raison alléguée des changements apportés à l'équipe dirigeante du SpaceJet est liée à la difficulté d'intégration entre les employés étrangers et les Japonais. Avec le nombre croissant de collègues étrangers, les Japonais se sont sentis assouplis du processus. Il était courant de se plaindre de la façon dont les Occidentaux agissaient, comme, contourner la gestion intermédiaire et aller directement au sommet, qui a dérangé les fonctionnaires japonais.⁸¹ Il y a eu un choc culturel qui a entraîné des problèmes de communication et qui s'est traduit par un nouveau retard. Il est indéniable que l'arrivée de personnes qualifiées et habituées à l'environnement de planification et de construction d'aéronefs a considérablement contribué à la correction et à l'amélioration du M90, ce qui démontre à quel point il est difficile d'établir une expertise dans l'industrie aéronautique.

⁸⁰ Driskill, M. (2020, 15 juin). More shifts at Mitsubishi Aircraft. *Asian Aviation*. <https://asianaviation.com/more-shifts-at-mitsubishi-aircraft/>

⁸¹ Kawakami, A. et Nishioka, A. (2020, 1 juillet). Mitsubishi taps F-15 specialist to pull SpaceJet out of tailspin. *Nikkei Asia*. <https://asia.nikkei.com/Business/Aerospace-Defense/Mitsubishi-taps-F-15-specialist-to-pull-SpaceJet-out-of-tailspin>

Grâce aux derniers changements apportés à l'équipe, MHI renvoie la conduite du projet du SpaceJet aux ingénieurs et techniciens japonais.

3.1.7 Implications du retard de SpaceJet M90

Tout projet, pour réussir, doit être efficace et efficient. Selon Barcaui (2012), une gestion de projet efficace et efficiente est le résultat de l'action disciplinée et continue des bonnes pratiques, des méthodologies et des processus tout au long de son cycle de vie pour atteindre les objectifs proposés, dans les délais et les coûts prévus.⁸² Dans son état actuel, il est constaté que le projet SpaceJet M90 n'est pas efficace ni efficient. L'efficience (efficient) et l'efficacité (efficace) sont souvent considérées comme des mots synonymes, mais il y a une différence entre eux. Selon le dictionnaire Larousse l'efficience est la capacité d'un individu ou d'un système de travail d'obtenir de bonnes performances dans un type de tâche donné, déjà l'efficacité est la capacité d'un organisme efficace, qui produit le maximum de résultats avec le minimum d'efforts, de moyens. Donc, l'efficacité est la capacité d'arriver à ses buts. Être efficace, c'est produire les résultats escomptés et réaliser les objectifs fixés dans les domaines de la qualité, de la rapidité et des coûts et l'efficience mesure un résultat au regard des ressources consommées, alors que l'efficacité est une mesure de résultat, d'atteinte d'un objectif.

Les retards successifs de SpaceJet ont eu des conséquences financières et de commerciales pour MAC. L'entreprise a été touchée par le retrait d'un important fournisseur du programme, *Toray Industries*, un fabricant japonais de fibres de carbone, qui a décidé qu'elle ne produira pas les composants qui sont utilisés dans le fuselage de l'avion. La raison alléguée est que les retards constants du SpaceJet M90 ont rendu la coopération inutile et avec cela Mitsubishi lui-même produira les pièces.⁸³

⁸² Barcaui A.B. (2006). *Gerente Também é Gente: Um Romance Sobre Gerência de Projetos*. Brasport Livros e Multimídia.

⁸³ Staff CH-Aviation (2019, 26 novembre). Mitsubishi non-committal on SpaceJet debut in mid-2020. *CH-Aviation*. <https://www.ch-aviation.com/portal/news/83745-mitsubishi-non-committal-on-spacejet-debut-in-mid-2020>

Dans les tableaux 6 et 7 ci-dessous, nous pouvons vérifier comment les 6 retards du SpaceJet ont des répercussions sur le début des vols d'essai et la livraison du premier aéronef (qui n'a pas encore eu lieu).

Tableau 6 - Diagramme du début du test en vol et de la livraison du premier avion

Événement	2011				2012				2013				2014				2015				2016					
	1e T	2e T	3e T	4e T	1e T	2e T	3e T	4e T	1e T	2e T	3e T	4e T	1e T	2e T	3e T	4e T	1e T	2e T	3e T	4e T	1e T	2e T	3e T	4e T		
Prévision du 1er vol																										
Mise à jour 1er vol					1er retard				2e retard				3e retard													
1er vol effectué (11/11/2015)																										
Livraison prévu du 1er avion																										
Mise à jour 1ière livraison													1er retard				2e retard									
Dernier prévision du 1er avion																										
Événement	2017				2018				2019				2020				2021				2022					
	1e T	2e T	3e T	4e T	1e T	2e T	3e T	4e T	1e T	2e T	3e T	4e T	1e T	2e T	3e T	4e T	1e T	2e T	3e T	4e T	1e T	2e T	3e T	4e T		
Prévision du 1er vol																										
Mise à jour 1er vol																										
1er vol effectué (11/11/2015)																										
Livraison prévu du 1er avion																										
Mise à jour 1ière livraison	3e retard				4e retard								5e retard													
Dernier prévision du 1er avion																					6e retard					

Le début des essais en vol, la certification (en mettant l'accent sur la durée de la campagne) et la livraison du premier avion sont des événements majeurs qui servent de jalons de projet. Si ces trois événements se déroulent conformément au calendrier initial du projet, ils démontrent que l'OEM a conçu et construit son nouveau produit selon les normes, réglementations et les spécifications techniques, il est donc un indicateur de la performance de l'entreprise.

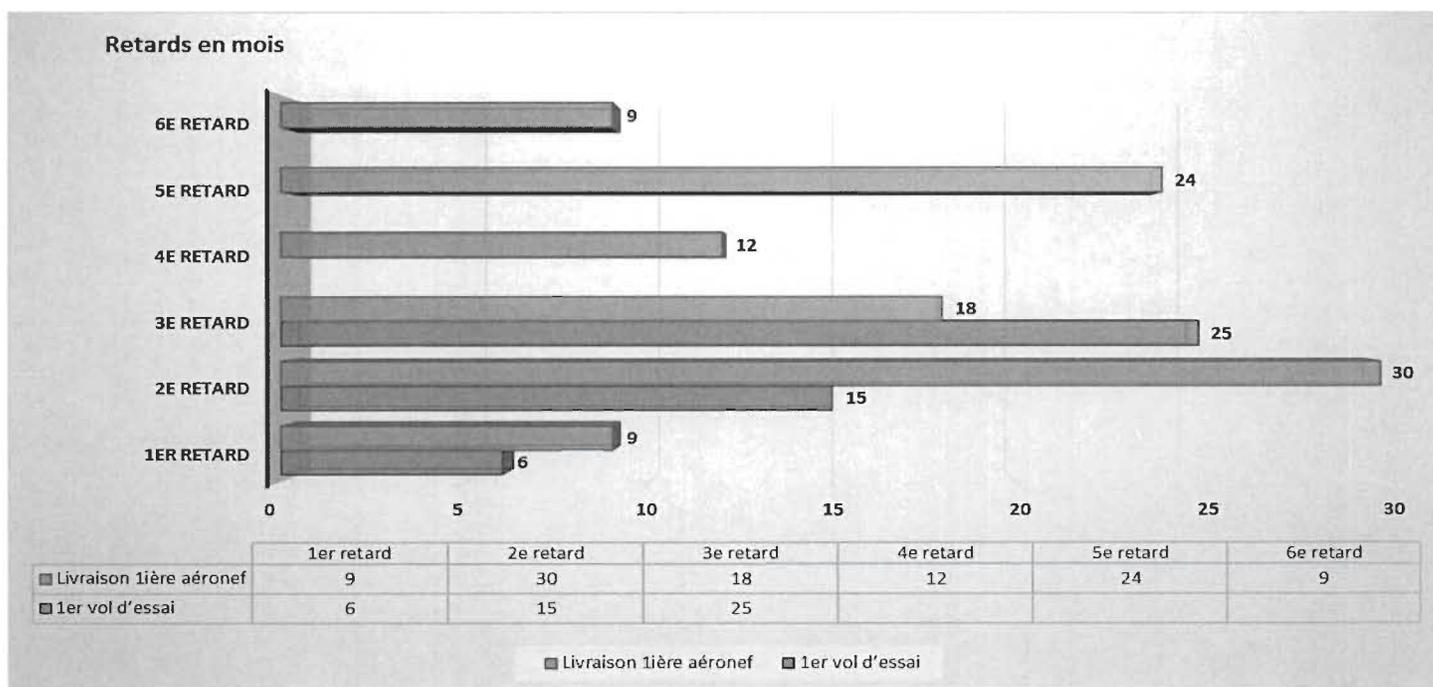
En vérifiant le tableau 7, nous constatons qu'il a eu un retard de 46 mois (3,83 ans) au début des essais en vol et un retard (du premier au cinquième délai) de 93 mois (7,74

ans), y compris la projection la plus optimiste pour la livraison du premier avion signalé dans le sixième retard, nous aurons un délai total de 102 mois (8,5 ans).

Tableau 7 - Retards au début des vols d'essai et de la livraison du premier avion du SpaceJet M90

Retard	Annonce	1er vol prédit	Nouvelle prévision 1er vol	Délai 1er vol	Livraison 1ère avion	Nouvelle livraison 1er avion	Délai 1ère livraison
1er	Sep/2009	4e trim 2011	2e trim 2012	6 mois	2e trim 2013	1er trim 2014	9 mois
2e	Avr/2012	2e trim 2012	3e trim 2013	15 mois	1er trim 2014	4e trim 2015	30 mois
3e	Aoû/13	3e trim 2013	2e trim 2015	25 mois	4e trim 2015	2e trim 2017	18 mois
4e	Déc/2015	--	--	--	2e trim 2017	2e trim 2018	12 mois
5e	Jan/2017	--	--	--	2e trim 2018	2e trim 2020	24 mois
6e	Fév/2020	--	--	--	2e trim 2020	1er trim 2021	9 mois

Figure 10 - Retards du premier vol et de la première livraison prévue du SpaceJet M90



Les erreurs et retranchements constants dus au manque d'expérience et de maturité au cours du processus de planification et de construction du SpaceJet M90 ont conduit à l'utilisation de 6 avions pour la campagne de certification (initialement 4 avions étaient prévus)⁸⁴ et à la mise en place d'un nouveau centre d'essais à Moses Lake, dans l'État de Washington, aux États-Unis. La mise en place du centre d'essais à Moses Lake est due aux retards dans le projet qui ont influencé la capacité d'effectuer des essais en vol dans la région de Nagoya au Japon, siège social de la MAC. Les retards constants ont alourdi le calendrier des tests de vol, et la région de Nagoya étant l'une des plus grandes congestions aériennes du Japon, limitant les essais, il était nécessaire de mettre en œuvre un autre centre. En plus de la question de la disponibilité de l'espace aérien, une autre raison du choix de Moses Lake a été fortement influencée par l'embauche d'Aerotec Testing Engineering et certification L.L.C., basée à Seattle. Aerotec a d'abord été embauché comme consultant, en raison de son expérience dans la certification d'aéronefs de Boeing et Bombardier. Cependant, en raison des défaillances constantes de la documentation et des insuffisances concernant les normes et procédures des produits actuellement, Aerotec fait partie intégrante du projet SpaceJet M90, et enfin, la ville de Moses Lake a un aéroport international qui est utilisé exclusivement à des fins militaires ou des essais pour Boeing ; l'endroit idéal pour que MAC réalise les tests de vol de SpaceJet sans aucune préoccupation ou empêchement du fait du trafic aérien.

Dans le tableau ci-dessous, nous pouvons effectuer une comparaison du nombre d'aéronefs et des centres d'essai impliqués dans la certification de Mitsubishi SpaceJet M90 et l'Embraer E175-E2, concurrent direct de Mitsubishi.

⁸⁴ Toh, M. (2017b, 21 décembre). Two more jets to join MRJ flight test campaign. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/systems-and-interiors/picture-two-more-jets-to-join-mrj-flight-test-campaign/126553.article>

Tableau 8 - Quantité d'aéronefs et d'heures de test d'essai du Embraer E175-E2 et Mitsubishi SpaceJet M90

Modèle	Nombre d'aéronefs d'essai	Nombre initial d'aéronefs prévue	Centre de test	Localisation	Nombre d'avions en essai	Distance entre les centres	Heures/mois d'essais en vol prévues	Quantité supplémentaires	Durée actuelle de la campagne	Total heures
E2-175	3	3	2	Gavião Peixoto - São Paulo	3	306,5 km	24 mois ¹	18 mois ³	13 mois	--
				São José dos Campos - São Paulo			2 000 heures			
SpaceJet M90	6	4	2	Nagoya - Japon	1	8 131 km	2 500 heures ²	1 400 heures	62 mois	3 900
				Moses Lake - Washington - EUA	5					
¹	https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2019-12-12/embraer-e175-e2-begins-flight-test-campaign									
²	https://www.flightglobal.com/systems-and-interiors/picture-two-more-jets-to-join-mrj-flight-test-campaign/126553.article									
³	https://simpleflying.com/embraer-e175-e2-delay/									

On peut noter qu'en raison des retards de SpaceJet M90, la MAC a dû ajouter 2 nouveaux avions à la campagne de certification (augmentation de 50 %), ajouter 500 heures de vols d'essai (20 % d'augmentation), mettre en place un autre centre d'essais en vol à Moses Lake, 8 131 km de son siège social. À ce stade, un deuxième centre d'essai est habituel parmi les OEMs occidentaux, comme Lima Quattrocchi (2018) rapporte :

La structure disponible pour l'essai est proportionnelle à la taille du fabricant et la plupart du temps, proportionnelle à la taille de leur avion. Les quatre grands fabricants occidentaux : Boeing, Airbus, Embraer et Bombardier, opèrent plus d'une installation d'essai, car ils ont plusieurs (plus d'une) campagnes de test en même temps. Ils doivent surmonter les intempéries et les adversités saisonnières, le trafic aérien régulier et les zones survolées occupées, de sorte qu'ils choisissent de préférence des zones inhabitées avec plusieurs options d'atterrissage.⁸⁵

⁸⁵ Lima Quattrocchi, P. S. de (septembre, 2018). *Gestion de projet durable d'essais en vol*. [Mémoire de maîtrise en gestion de projet, Université du Québec à Trois-Rivières].

La structure disponible par l'essai est proportionnelle à la taille du fabricant, dans ce cas la MAC n'a pas encore la même envergure que les fabricants signalés, comparativement à Embraer qui a inauguré son deuxième centre d'essai seulement en 2001.

La mise en place d'un centre d'essai est une structure physique qui exige une dépense importante pour l'entreprise, comme l'indique Lima Quattrocchi (2018) :

Les grands centres d'essais en vol sont souvent équipés d'une piste longue et large, d'antennes de télémétrie de données et de hangars d'entretien. La présence de l'ingénierie de développement pour le soutien des essais est fréquente, ainsi la structure complète de bureau est exigée avec tous les effets secondaires : équipe d'entretien, approvisionnement de carburant, outils spécialisés, véhicules de soutien, stockage de pièces de rechange, communication lourde de données, transport, nourriture et hébergement à proximité. Les tests du système de navigation exigent des stations de radio calibrées et des émetteurs d'approche auxiliaire (ILS - Instrument Landing System) qui augmentent les coûts d'exploitation et d'entretien de l'installation d'essai.

Même si l'aéroport de Moses Lake disposait d'une structure physique et d'équipement, des investissements ont été nécessaires, qui ont eu des répercussions financières sur l'entreprise. En ce qui concerne la partie financière du projet, les coûts et les dépenses de développement de SpaceJet ont affecté, affectent et affecteront les flux de trésorerie, le retour sur investissement, les revenus (ventes) et la capacité d'investissement. Contrairement à ses concurrents, qui sont des OEMs exclusifs du segment aérospatial (Boeing, Embraer et Airbus) ou qui ont des entreprises séparées d'autres unités d'affaires (comme Bombardier), la MAC est une unité d'affaires de MHI, de sorte que la société n'a pas de bilan exclusif, ses résultats financiers et comptables sont divulgués dans les rapports de MHI (qui a plusieurs unités d'affaires) et découlant de cette

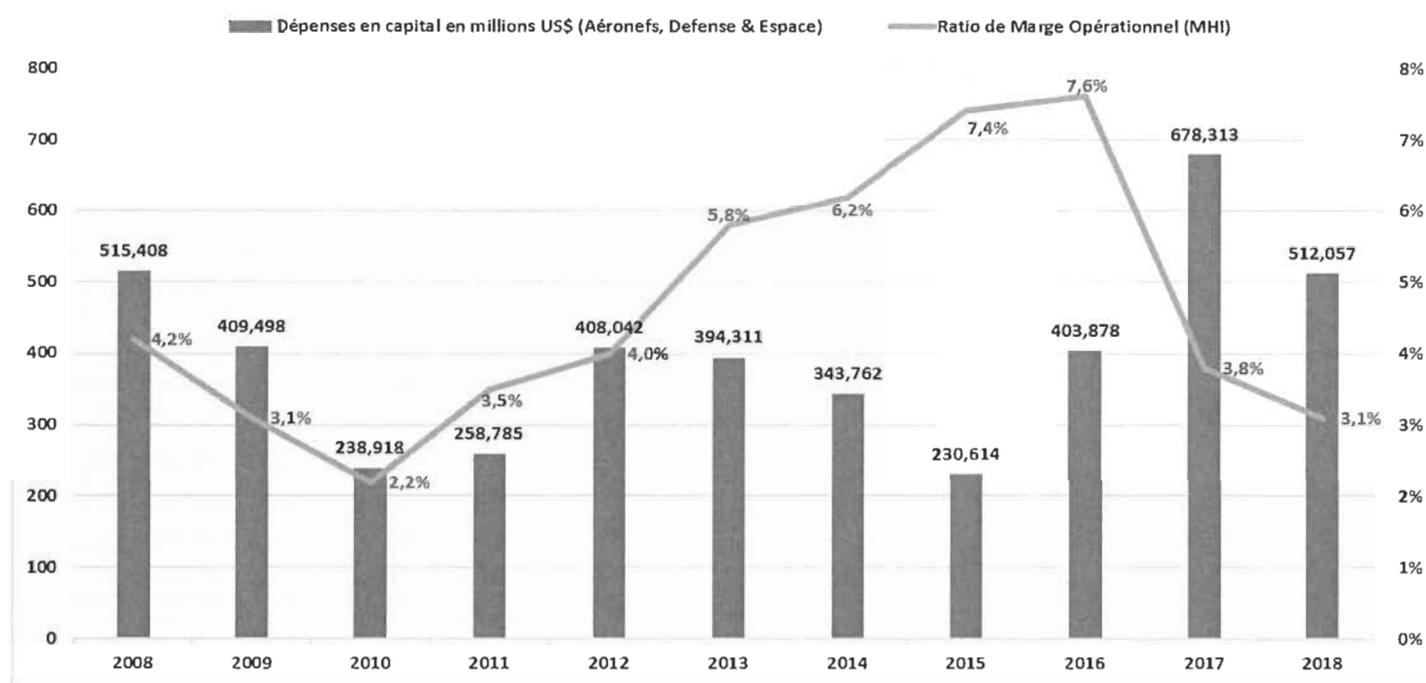
particularité, il n'est pas possible de réaliser un rapport comptable et financier de leurs activités. Même face à cette difficulté, il est possible d'obtenir certains indicateurs qui démontrent l'impact des retards.

Le groupe Mitsubishi est un géant industriel japonais, un total de 235 unités d'affaires font partie du groupe, ayant facturé, dans l'exercice fiscal 2018, US\$ 36,275 milliards, avec un total de 80 744 employés. Parmi les principaux produits fabriqués par Mitsubishi, nous mettons en évidence ceux de l'énergie, l'avion, l'espace, le transport, la marine, la maintenance, l'automobile, les systèmes environnementaux, les infrastructures, la défense et systèmes de refroidissement. Cet ensemble d'unités est regroupé en 3 grands segments d'activité : Systèmes électriques, industrie & infrastructure et aéronefs, défense & espace. En analysant les rapports financiers 2008-2018 de MHI, malgré les limites décrites sur la page précédente, il a été possible d'obtenir un indicateur financier et un compte comptable qui illustrent les conséquences financières des retards de SpaceJet M90. Étant donné que :

- Dépenses en capital : Sont les fonds qui sont utilisés par une entreprise pour l'achat, l'amélioration ou l'entretien d'actifs à long terme afin d'améliorer son efficacité ou sa capacité. Les biens à long terme sont habituellement des biens physiques, fixes et non consommables, comme des biens, de l'équipement ou des infrastructures, et qui ont une durée de vie utile de plus d'une période comptable.
- Ratio de marge d'exploitation : Le ratio de marge opérationnelle, également connu sous le nom de marge bénéficiaire d'exploitation, est un ratio de rentabilité qui mesure le pourcentage du chiffre d'affaires total constitué par le résultat d'exploitation. En d'autres termes, le ratio de marge opérationnelle montre combien de revenus il reste après que tous les coûts variables ou d'exploitation ont été payés. À l'inverse, ce ratio montre quelle proportion des revenus est disponible pour couvrir les coûts hors exploitation comme les intérêts débiteurs.

Dans le graphique ci-dessous (figure 11), sont démontrés les dépenses en capital de la MAC et le ratio de marge opérationnelle (exploitation).

Figure 11 - Comparaison entre les dépenses en capital de division d'Aéronefs, Défense & Espace contre le ratio de marge opérationnel de MHI



Entre 2008 et 2013, le programme SpaceJet a été lié à la division Aérospatiale, en 2014, SpaceJet a rejoint la division Avions Commerciaux et Systèmes de Transport, étant associé à cette division jusqu'en 2017, à partir de 2018, le programme a été intégré par la division Aéronefs, Défense & Espace. Ces changements rendent encore plus difficile l'analyse à travers les indicateurs financiers, mais il est encore possible d'assumer les impacts des retards dans les résultats financiers de l'entreprise, comme ci-dessous :

La crise économique mondiale entre les années 2008 à 2010 ne sera pas analysée. Entre 2011 à 2015, bien que face à quatre retards survenus, l'objectif principal de la prise de décision de MAC était en relation avec la partie budgétaire du projet, comme Morimoto

informe (pages 60 et 61), mais nous constatons qu'il y a eu une dépense en capital de l'ordre d'US\$ 1,635 milliard, une moyenne annuelle d'US\$ 327,103 millions. Pendant la crise mondiale, la moyenne est d'US\$ 387,941 millions. Entre 2016 et 2018, la moyenne est d'US\$ 531,416 millions. Nous pouvons constater que les dépenses en capital ont été plus élevées au cours des trois premières années du projet et qu'au cours de la période de 5 ans, il y a eu une diminution de 15,68 %. Cependant, alors que les retards se sont accumulés et surtout à la reformulation du programme, les ressources utilisées dans les dépenses en capital ont augmenté de 62,46 %. En analysant les dépenses de capital des 10 dernières années (2009 à 2018) sur 6 ans, la division à laquelle le programme SpaceJet était lié, soit la deuxième ou première division avec le montant le plus élevé dépensé en dépenses de capital.

Malheureusement, il n'y a pas de rapport financier avec le ratio de marge d'exploitation de la MAC, le seul rapport est celui de la MHI, qui englobe toutes les entreprises de chez Mitsubishi. Toutefois, nous pouvons voir qu'en 2017 (3,8 %) et 2018 (3,1 %), l'indicateur affiche le rendement le plus bas depuis la dernière crise mondiale. Sans données détaillées pour mener une étude plus approfondie de l'impact de SpaceJet sur la MHI, nous n'avons aucun moyen de confirmer si cette chute est liée aux retards de SpaceJet, mais avec certaines données obtenues, permet une corrélation entre la baisse du ratio de marge d'exploitation de MHI et la nécessité d'injecter ressources ou d'annuler des dettes de MAC. En 2017, il a été annoncé que SpaceJet accumulait une perte nette d'US\$ 465 millions et les pertes cumulées s'élevaient à US\$ 1,375 milliard.⁸⁶ En 2018, MHI a injecté US\$ 1,9 milliard⁸⁷ dans le capital de MAC et a renoncé à une dette d'US\$

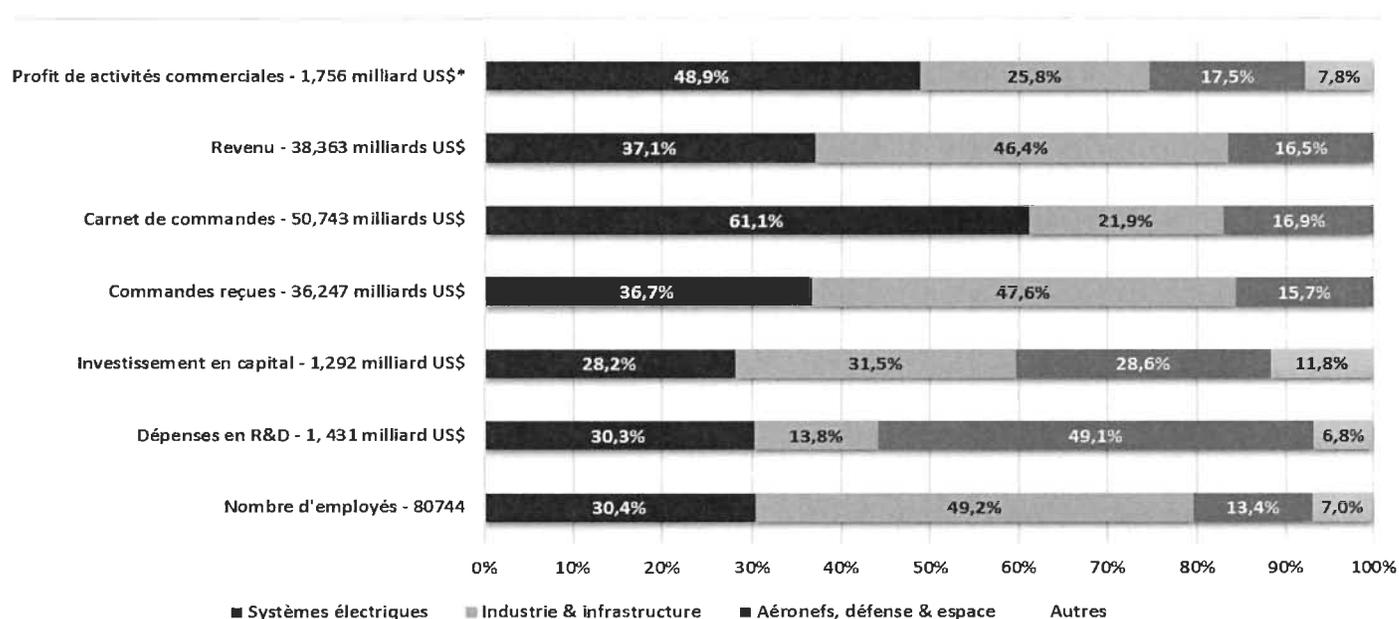
⁸⁶ Staff The Japan Times (2017, 2 juillet). Mitsubishi Aircraft sinks into negative net worth on spiraling MRJ costs. *The Japan Times*. <https://www.japantimes.co.jp/news/2017/07/02/business/corporate-business/mitsubishi-aircraft-sinks-negative-net-worth-spiraling-mrj-costs/#.XlYaYKhKjIV>

⁸⁷ Sugiura, E. (2018, 31 octobre). Mitsubishi Heavy injects another \$1.9bn into struggling jet. *Nikkei Asian Review*. <https://asia.nikkei.com/Business/Business-trends/Mitsubishi-Heavy-injects-another-1.9bn-into-struggling-jet>

455 millions. Enfin, en 2020, MHI a annoncé une perte spéciale d'US\$ 4,5 milliards⁸⁸ dus aux retards de SpaceJet.

Dans le rapport annuel 2018 de MHI, il est possible de constater qu'en 2018 la division des avions, défense & l'espace a consommé 49,1 % de toutes les dépenses en recherche et développement (R&D), comme indiqué ci-dessous.

Figure 12 - Données financières et non financières MHI 2018



Le coût du développement du produit qui en 2007, a été évalué à US\$ 1,275 milliard⁸⁹, passant à US\$ 4,554 milliards⁹⁰ (hausse de 357,18 %) en 2017 et en

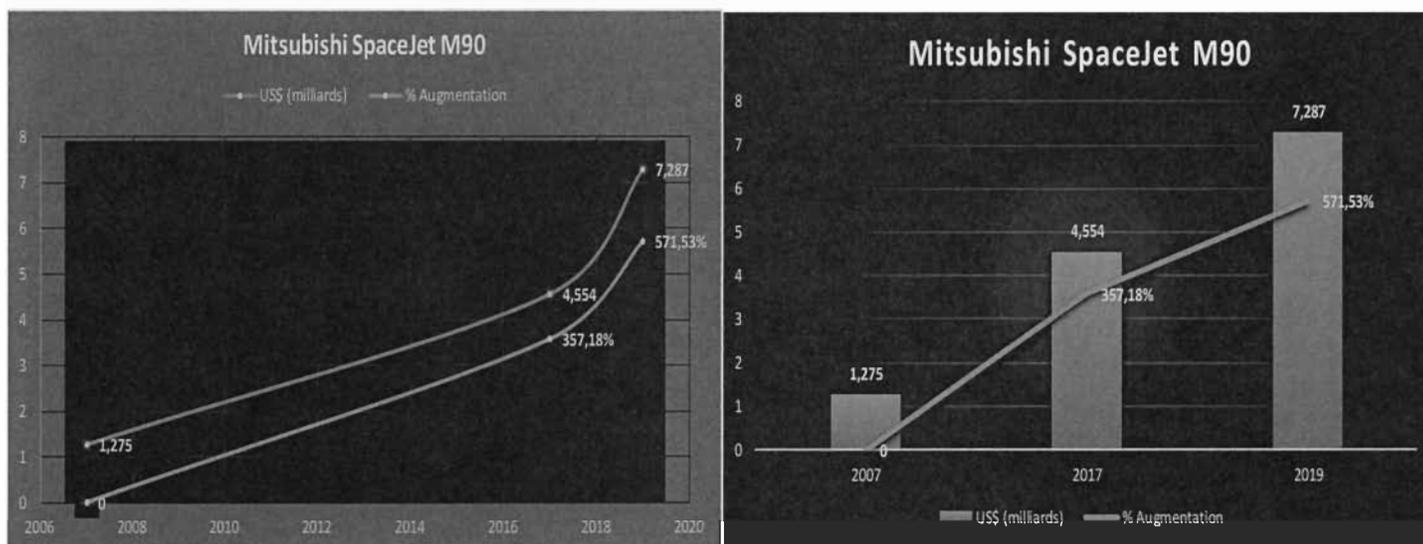
⁸⁸ Kelly, T., Coghill, K. et Cushing, C. (2020, 6 février). Mitsubishi postpones SpaceJet delivery again, books \$4.5 billion special loss. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-mitsubishi-spacejet/mitsubishi-postpones-spacejet-delivery-again-books-4-5-billion-special-loss-idUSKBN2000FI>

⁸⁹ Francis, L. (2007, 15 octobre). Mitsubishi formally offers new MRJ regional jet to airlines. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/mitsubishi-formally-offers-new-mrj-regional-jet-to-airlines/76680.article>

⁹⁰ Mecham, M., et Anselmo, J. (2008, 17 mars). Mitsubishi Leads Japanese Aircraft Resurgence. *Aviation Week Network*. https://aviationweek.com/site-files/aviationweek.com/files/uploads/2014/10/AW_03_17_2008_p68-70.pdf

2019, la valeur du développement de l'avion a consommé US\$ 7,287 milliards,⁹¹ une augmentation de 571,53 % par rapport au montant initialement prévu pour le projet.

Figure 13 - Évolution du coût de développement et pourcentage d'augmentation du SpaceJet M90



L'estimation actuelle du coût de développement du SpaceJet M90 à US\$ 7,287 milliards (voir figure 14, page 79) le classe déjà au quinzième rang des coûts les plus élevés de l'histoire du développement d'un aéronef, notant que la valeur est supérieure aux modèles plus grands et qu'en théorie, ils ont un coût de conception plus élevé, le Boeing 777 a coûté US\$ 7 milliards. Comme paramètre, nous pouvons utiliser un autre avion dans la même gamme de capacité de passagers (PAX en anglais) qui est le Sukhoi SuperJet 100 dont le montant dépensé était d'US\$ 2 milliards, le SpaceJet M90 a jusqu'à présent une valeur 3,64 fois supérieure au modèle Sukhoi.

⁹¹ Obe, M. et Watanabe, N. (2019, 21 juin). Mitsubishi hopes global ambitions will fly with revamped jet. *Nikkei Asian Review*. <https://asia.nikkei.com/Business/Company-in-focus/Mitsubishi-hopes-global-ambitions-will-fly-with-revamped-jet>

Partant de l'hypothèse que plus la capacité de PAX d'un avion est élevée proportionnellement à son coût de développement, SpaceJet échappe totalement à cette conjecture et présente actuellement le troisième plus grand coût de développement par PAX de l'industrie aéronautique, d'une valeur d'US\$ 80,967 millions (voir figure 15, page 80).

Figure 14 - Estimation du coût du développement des aéronefs

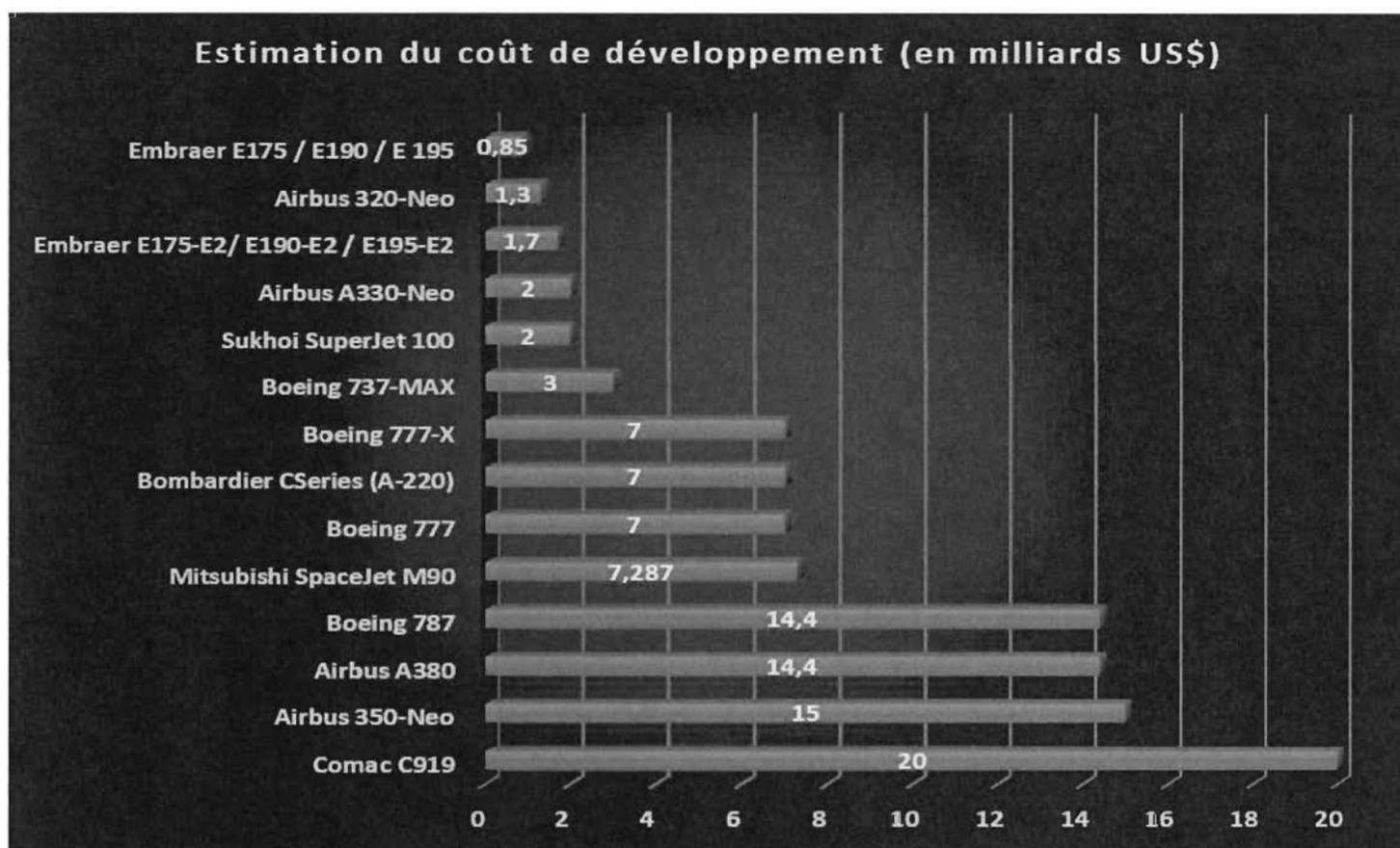


Figure 15 - Estimation du coût de développement par PAX



En continuant l'analyse des conséquences du retard du projet, nous arrivons à un point fondamental pour tout avion, son portefeuille de commandes. Le SpaceJet M90 a accumulé un total de 432 commandes, avec 232 commandes fermes, 195 commandes d'options et 5 mémorandums d'entente (MoU - Memorandum of Understanding). Mais au fur et à mesure que les retards se produisaient, ils ont commencé à annuler une partie de leurs commandes. En 2013, le Groupe ANI (Hong Kong) a annulé le MoU sur 5 appareils.⁹² En 2014, Eastern Airlines a annulé sa commande de 20 avions, sans mentionner la cause de l'annulation, mais il est supposé que les retards du projet étaient responsables de l'annulation.⁹³ Enfin, en 2019, Trans States Airlines (TSA) a annulé sa

⁹² Russel, E. (2013, 7 mai). Mitsubishi and ANI cancel MOU for MRJs. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/mitsubishi-and-ani-cancel-mou-for-mrjs/109641.article>

⁹³ Toh, M. (2018, 25 janvier). Eastern Air Lines cancels order for 20 MRJs. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/eastern-air-lines-cancels-order-for-20-mrjs/126854.article>

demande ferme de 50 appareils et son option de 50, annulant 100 unités.⁹⁴ Avec ces annulations à ce jour, le modèle dispose de 307 commandes (173 fermes et 134 options), il y a eu 125 annulations, soit un taux d'annulation de 29,48 %.

Tableau 9 - Portefeuille de commandes Mitsubishi SpaceJet M90 et M100

Entreprise	Modèle SpaceJet M90				Modèle SpaceJet M100				Pays
	Type de Commande				Type de Commande				
	Ferme	Option	MoU	Annulée	Ferme	Option	MoU	Annulée	
Aerolease Aviation (leasing)	10	10							EUA
Rockton (leasing)	10	10							Suède
Air Mandalay	6	4							Myanmar
ANA	15	10							Japon
JAL - Japan Airlines	32								Japon
SkyWest Airlines ¹	100	100							EUA
AIN Group				5					Hong Kong
Eastern Airlines				20					EUA
TSA - Trans States Airlines				100					EUA
Mesa Airlines							100		EUA
Non identifié							15		--
	173	134	0	125	0	0	115	0	

1 - Skywest peut modifier la commande pour le modèle M100 en raison de la clause de portée (Scope Clause)

Pourcentage d'annulation 29,48%

Possibilité de changement de modèle 65,15%

Ce pourcentage peut augmenter parce que la demande de 200 appareils de SkyWest a une option de changement pour le modèle SpaceJet M100, qui répond à la scope clause.⁹⁵ Si cet événement se produit, SpaceJet n'aura que 73 commandes fermes et 34 options. Dans les dernières négociations pour le renouvellement de la scope clause, pas de relâchement des normes, le prochain tour de négociations aura été en 2022-2023. Une

⁹⁴ Chua, A. (2019, 31 octobre). Trans States cancels SpaceJet orders. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/programmes/trans-states-cancels-spacejet-orders/135107.article>

⁹⁵ Scope clause - Règlement entre les syndicats des pilotes et des compagnies aériennes des États-Unis qui limitent l'utilisation de jets régionaux avec jusqu'à 76 sièges et poids maximum de décollage de 86.000 livres (39.000 kg).

annulation partielle ou totale de la demande de SkyWest n'est pas rejetée. Au cours de l'année 2013, SkyWest a commandé avec Embraer 100 unités du modèle E175-E2, en 2018 Embraer a retiré cette demande de son portefeuille, mais SkyWest informe que cette demande est toujours comptabilisée par la société. Cette année, le 30 janvier, SkyWest a annoncé une commande de 20 appareils Embraer E-175 et a indiqué que cette nouvelle demande n'affecte pas celle de 100 unités de la nouvelle génération (E175-E2),⁹⁶ donc si l'on considère ce compte rendu il y a une possibilité que la demande avec Mitsubishi pourrait être impactée.

Les prévisions de flotte de vols 2 018 de *FlightGlobal* ont estimé le marché des avions à réaction régionaux à US\$ 120 milliards au cours des 20 prochaines années, avec 40 % de la valeur provenant de 70 à 76 sièges desservant le marché nord-américain, indiquant que le produit principal sur le marché nord-américain ne sera pas le SpaceJet M90 ou l'Embraer E175-E2, le SpaceJet M100, configuré en trois classes (habituel de ce marché) avec 65 à 76 PAX, dans le scope clause. En juillet 2019, MAC a effectué un MoU de 15 unités avec un client non identifié et en septembre un nouveau MoU de 100 appareils avec Mesa Airlines.⁹⁷

Comme nous l'avons vu, les retards du projet ont influencé à la fois le coût de développement et sur les revenus futurs de la MAC. Basé sur les coûts actuels de conception du SpaceJet M90 d'US\$ 7,287 milliards équivalant à la valeur de la table (US\$ 47,3 millions) de 154 modèles de l'avion.⁹⁸ En partant de la marge opérationnelle moyenne des avionneurs commerciaux, qui est de 7,84 %, le bénéfice par avion serait

⁹⁶ Rochabrun, M. (2020, 30 janvier). SkyWest orders 20 old-generation Embraer jets as order for new line remains paused. *Reuters*. <https://www.nasdaq.com/articles/skywest-orders-20-old-generation-embraer-jets-as-order-for-new-line-remains-paused-2020-01>

⁹⁷ Beresnevicius, R. (2019b, 22 octobre). Mitsubishi reportedly delays the SpaceJet for the sixth time. *Aerotime Hub*. <https://www.aerotime.aero/rytis.beresnevicius/24096-mitsubishi-spacejet-sixth-delay>

⁹⁸ Smith, R. (2016, 10 octobre). Mitsubishi's jet set for push into Middle East. *The National*. <https://www.thenational.ae/business/mitsubishi-s-jet-set-for-push-into-middle-east-1.153824#full>

d'US\$ 3,7 millions projetant le besoin de vendre de 1969 unités d'aéronefs pour obtenir le retour sur les coûts de développement.⁹⁹

Si SpaceJet avait été livré à la date prévue, c'est-à-dire en 2013, il aurait pu conquérir une grande partie des quelque 500 jets régionaux que Bombardier et Embraer ont livrés sur le marché américain entre 2013 et 2018. En conséquence, MAC a perdu une fenêtre d'opportunité potentiellement profitable d'être le premier fabricant à commercialiser la dernière génération de jets régionaux à faible consommation de carburant.

Le prochain cycle de renouvellement de la flotte des compagnies aériennes américaines est prévu pour 2023, coïncidant avec le nouveau cycle de négociations sur le scope clause, s'il y a un assouplissement de la réglementation les nouvelles générations d'avions Embraer ainsi que de l'Airbus A220 pourront concurrencer avec Mitsubishi pour la rénovation des avions. Toutefois, s'il n'y a pas de changement dans la réglementation (maintien de la limite de 76 PAX et 39 000 kg de décollage), on estime que le marché américain comportera au maximum 1 100 avions, comme il y a déjà eu renouvellement de 500, il y aurait de la place pour 600 aéronefs, les analystes prévoient le renouvellement de 400 unités. Le gros problème de MAC est que la principale compagnie aérienne qui renouvellera ses avions est Republic Airlines,¹⁰⁰ qui est le plus grand opérateur Embraer du monde avec 211 avions et tous Embraer et qui, à ce jour, n'a pas mentionné l'intention de changer de fournisseur. Dans ce scénario, Mitsubishi n'aura pas une vie facile pour tenter de conquérir une demande supplémentaire sur le marché américain et en particulier quelques commandes avec Republic Airlines.

⁹⁹ Kelly, T. et Shiraki, M. (2017, 17 avril). Japan jet may not make money, but aims to revive dormant industry. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-japan-aerospace-mrj-analysis/japan-jet-may-not-make-money-but-aims-to-revive-dormant-industry-idUSKBN17J1ST>

¹⁰⁰ Levine-Weinberg, A. (2019, 17 juin). The New Mitsubishi Regional Jet Will Come a Decade Too Late. *The Motley Fool*. <https://www.fool.com/investing/2019/06/17/the-new-mitsubishi-regional-jet-will-come-a-decade.aspx>

En conclusion, comme mentionné par Bellamy (cité dans Schonland, 2019) :

Mitsubishi a peut-être beaucoup d'expérience dans la construction de composants aérospatiaux, mais elle n'avait pas quand il s'agissait d'obtenir les pièces et de les intégrer dans un avion commercial entièrement fonctionnel. La courbe d'apprentissage a été abrupte avec plusieurs trébuchements en cours de route.¹⁰¹

Tel que déclaré par Obe et Watanabe (2019) : « Pourtant, alors que Mitsubishi considérait le défi de l'avion de passagers comme un défi technologique, d'autres grands obstacles se dressaient ailleurs : la sécurité, la responsabilité, une communication fluide, et l'embauche et la rétention d'une expertise internationale. »

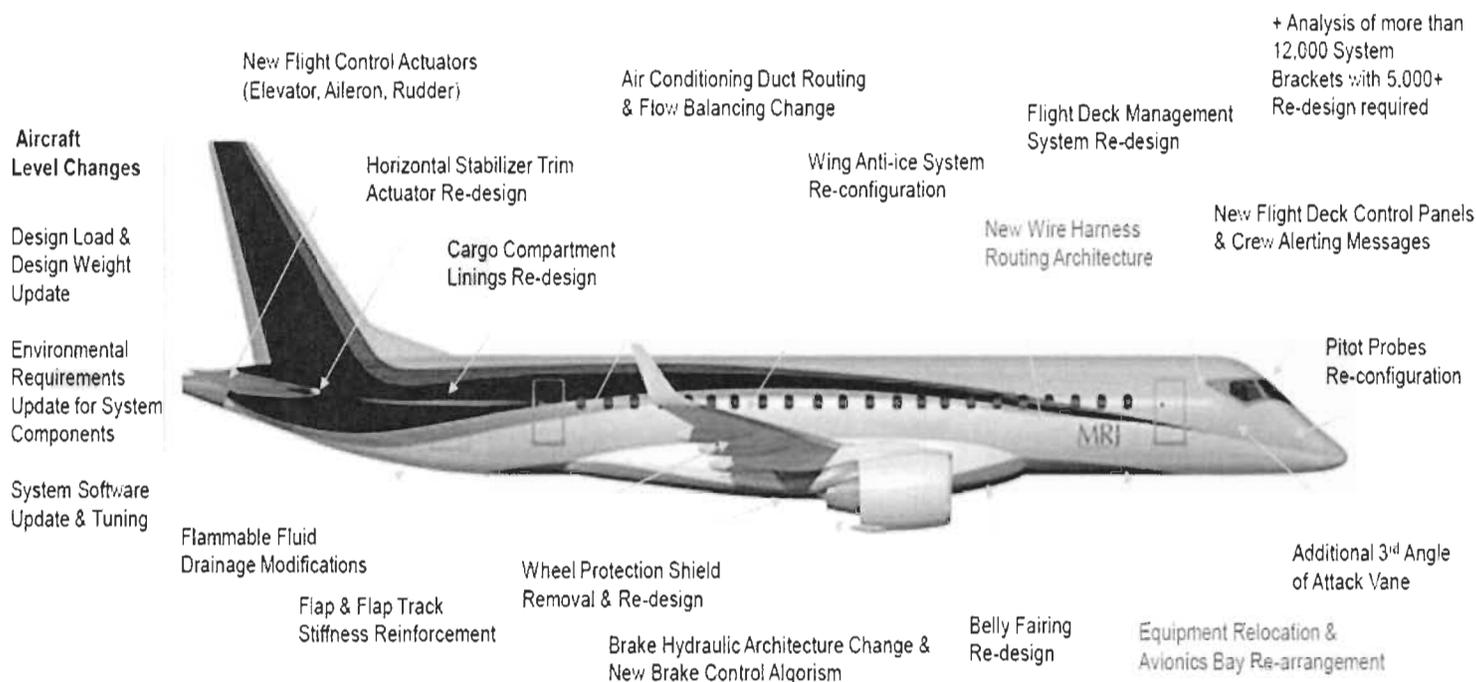
L'avantage du problème des retards sur le SpaceJet M90 est qu'ils ont servi pour Mitsubishi d'effectuer plus de 900 modifications à l'avion, comme la conception initiale qui ne répondait pas aux normes de certification et avait d'autres lacunes, nous pouvons dire que le modèle a été pratiquement redessiné pour répondre aux normes de certification ainsi que pour corriger ses lacunes.¹⁰² La figure ci-dessous montre les principales modifications apportées au SpaceJet M90.

¹⁰¹ Schonland, A. (2019, 19 juin). A program briefing and discussion with Mitsubishi's Alex Bellamy at Paris Air Show. *AirInsight*. <https://airinsight.com/a-program-briefing-and-discussion-with-mitsubishis-alex-bellamy-at-paris-air-show/>

¹⁰² Hamilton, S. (2020, 18 mars). Surrounded by global bad news, Mitsubishi launches new SpaceJet testing. *Leeham News and Analysis*. <https://leehamnews.com/2020/03/18/surrounded-by-global-bad-news-mitsubishi-launches-new-spacejet-testing/>

Figure 16 - Modifications et mises à jour apportées à la SpaceJet M90

2017-2019: MORE THAN 900 DESIGN CHANGES HAVE BEEN MADE



Source : Leham News and Analysis

Dans le cas de SpaceJet M90, les raisons qui ont conduit au retard de 8 ans de l'avion ne sont pas liées à des défaillances contractuelles, ni à l'absence ou au retard de composants par les fournisseurs, mais à des défauts de conception et maturité dans la conduite de ce projet, marquée par l'absence initiale de personnes ayant de l'expérience et une maîtrise du secteur aéronautique. Cependant, comme l'a rapporté pour Kelly et Shiraki (2017), l'objectif principal du gouvernement japonais n'est pas de gagner de l'argent pour la MAC, mais de faire en sorte que l'avion cimenter une renaissance de l'industrie aéronautique japonaise. « Au lieu d'une simple question de profit ou de perte, la plus importante est que, à long terme, soit la base d'une industrie aérospatiale forte », a déclaré une source gouvernementale qui aide le programme à Reuters. Il a demandé à ne pas être identifié car il n'est pas autorisé à parler aux médias.

Malgré tous les retards et les problèmes liés au lancement de son projet, nous ne pouvons pas exclure le projet Mitsubishi SpaceJet comme un projet voué à l'échec, car contrairement à Bombardier qui a subi d'énormes pertes financières en raison du retard dans le développement du projet CSeries, qui a abouti à la sortie des Canadiens en tant que fabricants d'avions commerciaux, la MAC appartient au plus grand conglomérat japonais, MHI qui a de faibles niveaux de dettes et de bonnes marges bénéficiaires d'autres divisions capables de supporter les pertes découlant du développement de SpaceJet. Cependant, la pandémie du Covid-19 a modifié cette situation en forçant MHI à faire des coupures (voir page 67) dans le programme SpaceJet, MHI a subi une perte d'US\$ 275 millions au cours du dernier exercice (avril 2019 / mars 2020), la première en deux décennies. Il est évident que la baisse de l'économie mondiale a contribué à ce résultat, mais en analysant le rapport financier, nous constatons que SpaceJet accumule des pertes d'US\$ 1,864 milliard.¹⁰³

3.2 RETARDS DU PROJET COMAC C919

Le constructeur aéronautique chinois Commercial Aircraft Corporation of China (Comac), fondé en 2008, est le fabricant du modèle Comac C919, un avion à deux biréacteurs (deux moteurs) classé à narrow-body. Comac a été formé par un consortium de plusieurs entreprises publiques chinoises Aviation Industry Corporation of China (AVIC), Aluminum Corporation of China (Chalco), Baosteel Group Corporation (Baowu), Sinochem Group, Shanghai Guosheng Corporation Limited et State-owned Assets Supervision and Administration Commission (SASAC). Le C919 solidifie la Chine en tant que développeur et fabricant d'avions commerciaux.

Le C919 est le deuxième projet de l'industrie aéronautique chinoise. Le premier modèle fabriqué était le Comac ARJ-21 qui est un turbo fan régional, d'une capacité

¹⁰³ Kawakami, A. et Nishioka, A. (2020, 1 juillet). Mitsubishi taps F-15 specialist to pull SpaceJet out of tailspin. *Nikkei Asia*. <https://asia.nikkei.com/Business/Aerospace-Defense/Mitsubishi-taps-F-15-specialist-to-pull-SpaceJet-out-of-tailspin>

comprise entre 78 et 90 passagers. En fait, ce modèle (ARJ-21) a une grande controverse sur son développement. Lors de son lancement en 2002, il y avait une comparaison de celui-ci avec l'ancien McDonnell Douglas (MD) MD-80/ MD-90, parce qu'en 1995, un contrat a été signé entre la compagnie et le gouvernement chinois, où la société d'État chinoise Shanghai Aircraft assemblerait 20 unités du modèle MD-90, mais en 1997 avec l'acquisition de MD par Boeing et la décision de Boeing de mettre fin à la production du modèle, seulement 2 avions ont été montés par les chinois. Après la fin du contrat, l'État chinois n'a pas retourné les outils, les presses et l'équipement de la chaîne de montage reçus et le projet chinois a profité de la base d'avions MD et modernisé l'intérieur, les équipements de vol, le train d'atterrissage et les réservoirs de carburant pour créer l'ARJ-21.¹⁰⁴

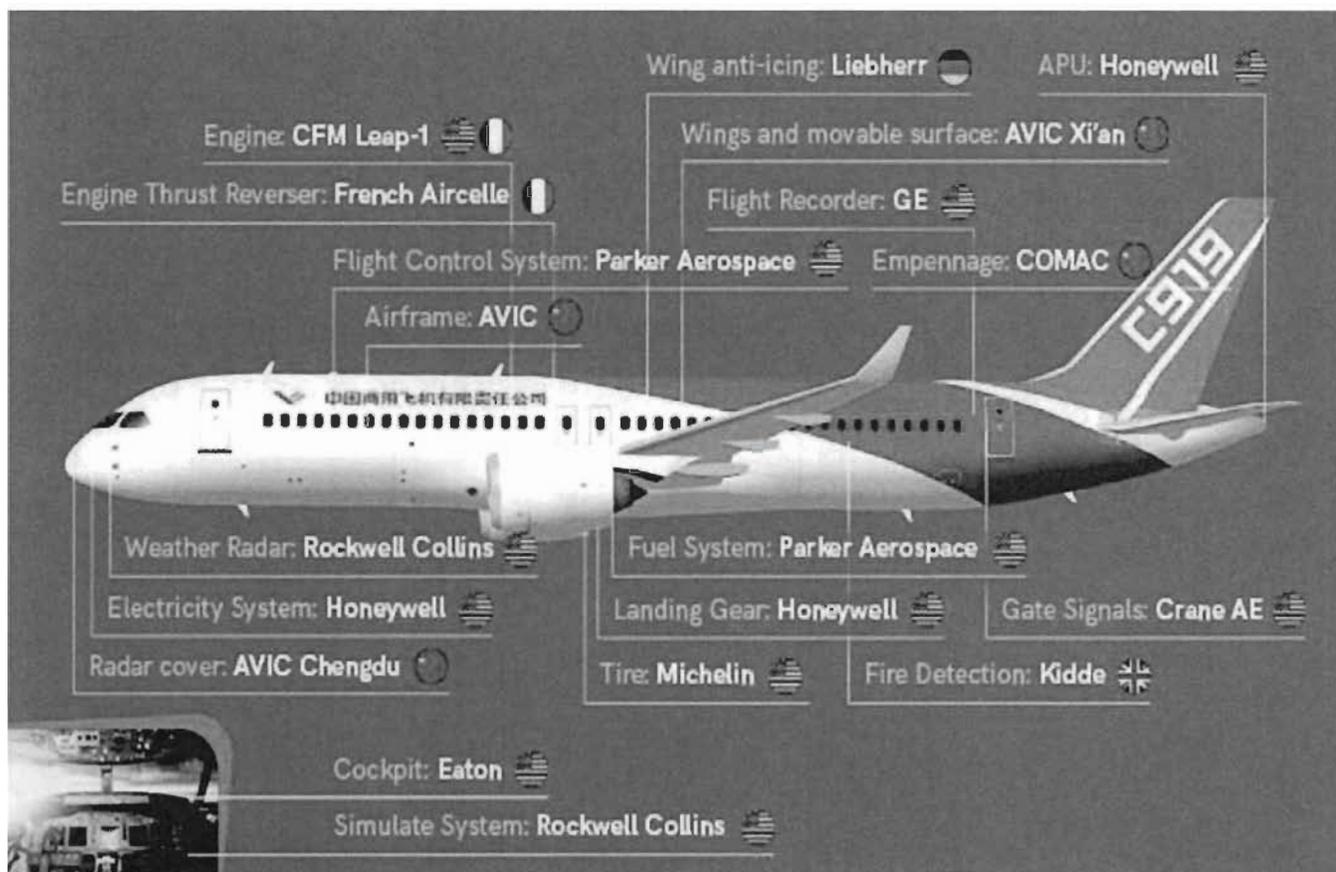
Jusqu'à présent, l'ARJ-21 n'a pas été certifié par la FAA et l'EASA, devenant un modèle restreint aux marchés asiatiques, africains et certains marchés latino-américains qui n'exigent pas de certifications américaines et européennes, et le modèle pourrait ne pas être en mesure d'obtenir la certification, selon un reportage publié en 2018 par le journal britannique *The Economist*, les régulateurs chinois interdisent à l'ARJ-21 de voler sous la pluie pour des raisons de sécurité.¹⁰⁵

Le gouvernement chinois souligne que le C919 est un projet chinois, mais si nous évaluons les fournisseurs qui participent au projet, nous verrons que la une grosse part du modèle concentre sur les fournisseurs internationaux, comme cela arrive à d'autres constructeurs aéronautiques. Voir dans la figure ci-dessous la composition des entreprises qui participent et sont responsables de la fourniture de composants ou du développement du projet.

¹⁰⁴ Vinholes, T. (2017, 29 juin). Primeiro jato comercial chinês completa um ano de operações. *AirWay*. <https://www.airway.com.br/primeiro-jato-comercial-chines-completa-um-ano-de-operacoes/>

¹⁰⁵ R. C. (2018, 25 juillet). Why Mitsubishi's new regional jet shouldn't be written off yet. *The Economist*. <https://www.economist.com/gulliver/2018/07/25/why-mitsubishis-new-regional-jet-shouldnt-be-written-off-yet>

Figure 17 - Fournisseurs de Comac C919



Source : LeMonde Informatique

En compilant les informations publiées, CNN a pu vérifier que de nombreux composants clés du C919 sont fabriqués à l'étranger - y compris les moteurs (par la coentreprise franco-américaine CFM International), le système d'alimentation et les trains d'atterrissage pour le Honeywell (États-Unis).¹⁰⁶

Une partie de l'avionique, y compris le système de communication ainsi que les systèmes de navigation et de contrôle, est fournie par Rockwell Collins. Tous des systèmes informatiques et des écrans du poste de pilotage aux boîtes noires, sont livrés par GE

¹⁰⁶ Jiang, Steven (2015, 2 novembre). China to take on Boeing, Airbus with homegrown C919 passenger jet. *CNN Travel*. <https://www.cnn.com/travel/article/china-new-c919-passenger-jet/index.html>

Aviation (GEA) et ses partenaires AVIC Systems. Le système d'alimentation électrique du C919 est également produit par un « étranger », c'est-à-dire Hamilton Sundstrand. Pour résumer, la couverture radar, les ailes et la queue – c'est la quantité de Chinois que représente le nouvel avion chinois.¹⁰⁷

Ainsi, le C919 n'est pas un projet exclusivement chinois, dans le développement de l'avion ont été embauchés plusieurs partenaires internationaux d'entreprises basées aux États-Unis, en Grande-Bretagne et en France, donc ainsi que leurs concurrents directs Airbus et Boeing, Comac agit comme un assembleur aéronautique.

Ce fait est corroboré par Rick Kennedy responsable des relations avec les médias chez GEA. « Le Comac C919 est un avion très international, comme celui de Boeing et d'Airbus. Dans cet esprit, il devrait offrir de meilleures opportunités en termes de maintenance ou de fourniture de pièces de rechange pour les opérateurs C919 dans le monde entier » (cité dans Aerotime Team, 2017).

Contrairement au projet Mitsubishi où le constructeur a officiellement annoncé les retards du projet SpaceJet dans le cas du C919, il y a eu peu d'annonces officielles de la part de Comac rapportant et expliquant les raisons des retards, nous allons donc parler chronologiquement des événements du projet.

En 2008, Comac a annoncé le lancement du projet de fabrication du premier avion commercial narrow-body, capable de transporter entre 158 et 168 passagers. Le calendrier initial du projet prévoyait le premier vol d'essai soit réalisé en 2014 et la livraison du premier avion en 2016. La construction du premier avion a commencé en 12 septembre

¹⁰⁷ Staff Aerotime Hub (2017, 5 mai). Made in China: why C919 can hardly be called Chinese. *Aerotime Hub*. <https://www.aerotime.aero/aerotime.team/447-made-in-china-why-c919-can-hardly-be-called-chinese>

2011.¹⁰⁸ Depuis mars 2012, Comac a conclu une entente de collaboration avec Bombardier pour des efforts conjoints liés à l'information sur la SC, aux systèmes électriques, à l'interface humaine, le cockpit et à la formation en vol. L'accord entre Bombardier et Comac visait à travailler ensemble pour le lancement de leurs projets, CSeries et C919.¹⁰⁹

3.2.1 Premier retard

Le 21 mai 2014, le premier retard du projet a été annoncé, et il a été signalé que le premier vol aurait lieu en 2015 et la livraison du premier avion en 2018. L'information a été donnée par le directeur financier de Comac, Tian Min. La raison du retard était que Comac se familiarisait avec le projet complexe, c'est-à-dire que le retard était dû à l'inexpérience, à la pénurie des talents locaux dans la conception et en ingénierie.¹¹⁰

Pour résoudre le problème de la rareté de la main-d'œuvre spécialisée, l'entreprise a embauché des dizaines de jeunes diplômés chinois en génie aérospatial dans les universités chinoises, américaines et européennes. Et tout comme MAC, recrute des professionnels de l'aérospatiale occidentale.

Le gouvernement chinois souligne que le C919 est un projet chinois, mais si nous évaluons les aérospatiales et enfin à l'absence d'entreprises chinoises détenteurs de technologie aérospatiale pour aider à stimuler le projet.

¹⁰⁸ Zhiguo, L. (2011, 16 décembre). Comac begins pilot production of C919 jet. *People's Daily Online*. <http://en.people.cn/90778/7679422.html>

¹⁰⁹ Toh, M. (2013b, 4 décembre). Comac and Bombardier discuss next phase of collaboration. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/comac-and-bombardier-discuss-next-phase-of-collaboration/111884.article>

¹¹⁰ Govindasamy, S. et Yan, F. (2013, 2 octobre). Delayed take-off: China cautious on large aircraft program. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-china-aerospace-comac/delayed-take-off-china-cautious-on-large-aircraft-program-idUSBRE99117I20131002>

3.2.2 Deuxième retard

Le 13 mai 2015 dans un reportage publié par la chaîne de nouvelles américaine CNBC a été informé que le vol inaugural a été retardé et qu'il était prévu que l'événement ait lieu dans la première moitié de 2016 et que la livraison du premier avion serait retardé en deux ans, passant de 2018 à 2020.¹¹¹ Les informations ont été données par des sources familières avec le programme qui ne sont plus autorisées à parler avec les médias.

Ce nouveau retard a porté un coup majeur aux efforts de Comac pour concevoir, construire et tester ses avions. Ce retard a également permis à ses concurrents Boeing et Airbus de lancer leurs modèles mis à jour du 737 MAX (Boeing) et A320-Neo (Airbus), de cette façon, C919 était une génération technologiquement retardée découlant des améliorations employées dans ses principaux concurrents.

Selon les sources, le retard est causé par le retard dans l'assemblage final du premier avion parce que Comac agit avec une extrême prudence et révisé délibérément tout pour s'assurer qu'il n'y a pas de problèmes de sécurité (Govindasamy, 2015). À ce stade, nous trouvons un fait en commun avec le programme de Mitsubishi, les chinois suivant la culture orientale traditionnelle de la patience et la vision à long terme, en ce moment même est plus préoccupé d'avoir un produit sûr et fiable, car les objectifs de la Chine sont que le développement du C919 sera le début d'un projet à long terme, c'est-à-dire que le modèle marquera l'entrée du pays en tant que constructeur d'avions narrow-body et il sera la base pour le lancement de nouveaux produits.

On voit que l'extrême prudence que Comac prend avec son nouveau modèle est également due à l'apprentissage obtenu avec le modèle ARJ-21, l'avion présentait de

¹¹¹ Govindasamy, S. (2015, 13 mai). Exclusive: China set to delay maiden flight of C919 commercial jet – sources. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-china-airplane/exclusive-china-set-to-delay-maiden-flight-of-c919-commercial-jet-sources-idUSKBN0NY1E820150514>

nombreuses lacunes de conception et de documentation et jusqu'à aujourd'hui, l'ARJ-21 n'a pas été certifié par la FAA et AESA.

3.2.3 Troisième retard

Le 5 mai 2017, le prototype numéro 1 de Comac C919 a réalisé son premier essai en vol, le voyage a duré 90 minutes,¹¹² mais le deuxième vol n'a été effectué que le 28 septembre 2017,¹¹³ presque de 5 mois après le premier, fait inhabituel chez les constructeurs aéronautiques. À partir de ce moment, les analystes et la presse spécialisée dans le segment de l'aérospatiale ont émis l'hypothèse que le projet a été retardé et qu'il y aurait une nouvelle annonce faisant état de la nouvelle date de livraison du premier avion.

Le 6 février 2018 lors du salon aéronautique de Singapour, le directeur général adjoint des ventes et du marketing de Comac, Lu Zheng, a indiqué que Comac avait l'intention de livrer le premier avion en 2021, même face aux retards dans les essais en vol.¹¹⁴

En ce qui concerne le retard dans les essais en vol, qui ont un impact sur la certification du modèle, Zheng a : « Cela ne devrait pas avoir d'impact » sur le délai de livraison au client de lancement de l'avion, China Eastern Airlines, a-t-il déclaré. « Nous visons 2021 ».

¹¹² Staff BBC (2017, 5 mai). China's first big passenger planes takes off for maiden flights. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/world-asia-china-39814146>

¹¹³ Goh, B. (2017, 28 septembre). China's COMAC says C919 jet completed second test flight. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-china-aviation-comac/chinas-comac-says-c919-jet-completed-second-test-flight-idUSKCNIC30H3>

¹¹⁴ Goh, B. (2018, 6 février). China's Comac says first delivery of C919 jet planned for 2021. *Reuters*. <https://www.cnbc.com/2018/02/06/chinas-comac-says-first-delivery-of-c919-jet-planned-for-2021.html>

Comme indiqué sur la page précédente, un retard de près de 5 mois entre le premier vol d'essai d'un aéronef et le deuxième vol n'est pas une chose courante dans l'histoire récente de l'industrie aéronautique, ce délai indique que le projet comporte des défauts et des lacunes qui doivent être corrigés pour la robustesse et la sécurité du projet. Il est connu que plusieurs projets actuels de constructeurs aéronautiques ont nécessité des corrections au cours de leur développement, fabrication et essais, généralement ces lacunes dans la conception sont restreintes entre le fabricant, leurs fournisseurs et tout au plus avec l'agent de régulateur de l'aviation civile qui effectue la certification. Nous savons maintenant qu'il y a eu un échec absurde pour Boeing et la FAA dans la certification du 737 MAX, qui a violé les normes et les règles de sécurité aérospatiale, et en conséquence il y a eu 2 accidents mortels où 346 personnes sont mortes, résultant d'une défaillance du système de soutien automatique de l'avion.

En ce qui concerne le retard des vols de test C919, peut-être en raison de l'effondrement de Boeing et la FAA dans la certification du 737 MAX, le 13 janvier 2020 dans un reportage de Simple Flying, il a été signalé que 4 personnes familières avec le développement de l'avion ont déclaré à Reuters que les ingénieurs de Comac avaient mal calculé les facteurs de charge et envoyé des données mathématiques erronées au fabricant de moteurs CFM International.¹¹⁵ En raison de cette erreur, selon des sources internes, les moteurs et leurs logements (carcasse) devraient être renforcés.¹¹⁶

Selon le reportage de Simple Flying, il y a d'autres problèmes techniques qui retardent les vols d'essai. En plus du problème d'erreur de facteur de charge, Comac a également trouvé des fissures dans les stabilisateurs horizontaux de certains des premiers avions qu'ils ont construits. Il y a eu des problèmes dans la boîte de vitesses du moteur, causés par des vibrations inattendues et qui a forcé les moteurs à être arrêté pendant les

¹¹⁵ Finlay, M. (2020, 13 janvier). China's COMAC C919 Faces A New Mathematical Headwind. *Simple Flying*. <https://simpleflying.com/comac-c919-miscalculation/>

¹¹⁶ Staff CH-Aviation (2020, 13 janvier). COMAC's C919 faces EIS delays beyond 2021-22. *CH-Aviation*. <https://www.ch-aviation.com/portal/news/85199-comacs-c919-faces-eis-delays-beyond-2021-22>

vols d'essai. Lors des inspections au sol, des fissures et des fuites d'huile ont été découvertes. Tous ces problèmes corroborent qu'en décembre 2019 (32 mois après le premier vol), le C919 n'avait effectué que 20 % des heures de vol prévues pour sa certification (Finlay, 2020).

3.2.4 Quatrième retard

En septembre 2019, Yang Yang, employé de Comac a déclaré aux médias d'État chinois qu'il s'attendait à une certification par les régulateurs du pays dans deux à trois ans, sans donner plus de détails. Le précédent objectif déclaré publiquement de l'entreprise était la fin de 2020. En janvier 2020, Comac n'avait pas encore transmis au CFM les calculs et les données corrects, les proches du projet évaluant qu'étant donné l'incertitude, rien ne garantit que la Comac atteindra l'objectif de Yang 2021-2022.¹¹⁷

Comme indiqué dans le troisième retard, les problèmes liés à la conception de l'avion ont encore un impact considérable sur l'avancement des vols d'essais pour la certification de l'avion. Le retard dans la résolution de problèmes techniques démontre qu'il y a un grand écart et un manque de gestion de projet, en raison de l'inexpérience de l'entreprise et de ses employés dans la tâche complexe de planifier, coordonner et contrôler les différents secteurs de l'entreprise, c'est-à-dire, l'ingénierie, les opérations et l'administration, pour concentrer leurs efforts sur un objectif commun, travailler efficacement en équipe, partager des informations et des données de manière productive et efficace, bref, nous constatons que Comac souffre du même problème que Mitsubishi qui est lié à l'absence de personnes ayant des connaissances et des expériences dans des projets aéronautiques, il y a donc un grave problème d'immaturation dans la conduite du projet C919.

¹¹⁷ Qiu, S. et Hefher, T. (2020, 9 janvier). China's bid to challenge Boeing and Airbus falters. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-china-aviation-comac-insight/chinas-bid-to-challenge-boeing-and-airbus-falters-idUSKBN1Z905N>

Selon le reportage de l'AIN obtenu avec une source qui travaillant en étroite collaboration avec Comac qui a parlé sous couvert d'anonymat, la Comac corrige toujours ses problèmes de conception, il ne vole donc pas beaucoup. Ils ne se sont pas vraiment attaqués à certains problèmes parce que tout le monde travaille en vase clos. Ils ne peuvent pas intégrer l'avion car personne ne se parle », a-t-il expliqué à l'AIN. « Tout le monde veut agir en tant que soliste et obtenir toute la gloire, mais vous ne pouvez pas avoir un groupe de solistes et construire un avion ». « Il y a tellement de problèmes d'intégration, ils ne savent pas par où commencer », a expliqué la source.¹¹⁸

Selon la même source, pour exemplifier la problématique d'intégration l'un des obstacles de longue date qui entravent les progrès est l'intégration des composants avioniques et de ses sous-systèmes dans le poste de pilotage. Ce défi reflète une préoccupation plus grande quant à la capacité de l'entreprise à réaliser une coordination efficace entre les équipes de composants.

Même s'il y a la participation de fournisseurs étrangers ayant une vaste expérience dans d'autres projets aéronautiques, alors que les entreprises étrangères ont apporté des éléments majeurs au programme, les équipes chinoises dans l'usine sont chargées de l'intégration à l'échelle du système. Non seulement cela nécessite des équipes hautement coordonnées - un concept avec lequel Comac aurait du mal - mais cela nécessite également un certain niveau de savoir-faire technique pour mettre le C919 en conformité avec les exigences de la FAA et de l'EASA.

3.2.5 Implications du retard de Comac C919

Considérant que Comac est une société d'État chinoise, il ne sera pas possible de procéder à des évaluations concernant la partie financière, puisque Comac ne publie pas

¹¹⁸ Meszaros, J. (2019, 14 juin). Flight Deck Woes Still Hampering C919. *AINonline*. <https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2019-06-14/flight-deck-woes-still-hampering-c919>

de rapports financiers. Nous prenons également en considération le fait que le gouvernement chinois apporte une contribution financière, soit par l'intermédiaire de banques publiques, soit par l'intermédiaire d'autres sociétés d'État participant au projet. Par conséquent, une évaluation financière et économique du projet ne peut pas être effectuée en raison des caractéristiques particulières de Comac.

De cette façon, nous effectuerons une analyse du marché et relative des difficultés et des échecs rencontrés dans la gestion de ce projet.

Si nous regardons de façon réaliste, le C919 sera un succès, malgré tous ses problèmes initiaux. C'est parce que la Chine est un pays communiste et son gouvernement pourrait (de nombreux analystes pensent que cela s'est déjà produit) forcer ses propres compagnies aériennes, sociétés de location et agences gouvernementales chinoises à acheter l'avion au lieu de modèles d'Airbus ou Boeing (Finlay, 2020).

Comme le montre le tableau ci-dessous, nous pouvons vérifier que le carnet de commandes total du C919 compte 1 013 unités, par rapport à la famille de modèles Airbus A320 (composée de l'A319, de l'A320 et de l'A321 dans toutes ses versions) a un portefeuille de 6 220 unités.

Tableau 10 - Portefeuille de commandes Comac C919

Entreprise	Modèle Comac C919				Pays
	Type de Commande				
	Ferme	Option/MoU	Non spécifié	Annulée	
Air China	5	15			Chine
China Eastern Airlines	5	15			Chine
Air Mandalay	5	15			Chine
China Southern Airlines	15	10			Chine
GE Capital Aviation Services	10	10			États-Unis
Hainan Airlines	15	5			Chine
ICBC Leasing			100		Chine
Sichuan Airlines			20		Chine
Bocomm Leasing			30		Chine
China Aircraft Leasing Company			20		Chine
Bank of China			20		Chine
China Development Bank	10				Chine
Agricultural Bank of China			45		Chine
China Construction Bank	26	24			Chine
Joy Air		20			Chine
Hebei Airlines			20		Chine
Industrial Bank Co. Leasing			20		Chine
China Merchants Bank Leasing		30			Chine
Hua Xia Bank Financial Leasing		20			Chine
Ping An Insurance Leasing		50			Chine
Puren Group				7	Chine
City Airlines				10	Thaïlande
Citic Group Financial Leasing	18	18			Chine
Shanghai Pudong Develop. Bank	5	15			Chine
China Everbright Group Leasing		30			Chine
China Nuclear E&C Group	20	20			Chine
Huabao Leasing	15	15			Chine
Avic International Leasing	15	15			Chine
ABC Financial Leasing	20	10			Chine
HNA Group			200		Chine
	184	337	475	17	1013

Dans le tableau, il est possible de vérifier que toutes les compagnies aériennes chinoises ont des commandes pour le modèle, en plus des banques de crédit-bail et de diverses agences gouvernementales chinoises. Il est clair qu'il n'y a qu'une seule demande d'une entreprise en dehors de la Chine qui est de GE Capital Aviation Services, l'une des plus grandes sociétés de location d'avions au monde. Avec un prix estimé à US\$ 30 millions,¹¹⁹ si Comac fabrique la moitié de son portefeuille, il aura déjà obtenu un revenu d'US\$ 15,195 milliards, la facturant tout son portefeuille, il garantirait déjà US\$ 30,390 milliards.

L'absence de demandes d'autres pays (principalement en Europe et aux États-Unis) est due à la non-certification du modèle auprès de la FAA et de l'AESA. Selon Boeing, environ 60 % du trafic aérien mondial transite par l'Europe ou les États-Unis, et les deux régions représenteront encore environ la moitié du total d'ici 2037. Par conséquent, il est essentiel pour tout constructeur à la recherche d'une pertinence mondiale de faire certifier ses avions comme étant en état de navigabilité par la FAA ou l'EASA.¹²⁰ Selon le reportage de Bloomberg News, sans la certification, les avions sont exclus des bandes du marché mondial de l'aviation. Il s'agit d'un problème à court terme - en supprimant la flexibilité des compagnies aériennes mondiales dans la façon dont elles déploient leur flotte - et à long terme, tuant la plupart du marché secondaire sur lequel les transporteurs comptent pour vendre leurs avions usagés.

En ce moment, le principal facteur de retard dans la livraison du premier aéronef est la lente évolution des essais en vol, le C919 a besoin d'effectuer 4 200 heures, ses six prototypes sont déjà en train d'effectuer des tests de vol et au sol, mais l'évolution de ces tests est très faible, comme décrit par Finlay (2020), avec seulement 20 % des tests

¹¹⁹ Lyme, C. (2015, 2 novembre). Superjet made-in-China: First look inside the C919 passenger plane as the country's home-made airliner makes its worldwide debut. *Daily Mail.com*. <https://www.dailymail.co.uk/news/peoplesdaily/article-3300113/Superjet-China-look-inside-C919-passenger-plane-country-s-home-airliner-makes-worldwide-debut.html>

¹²⁰ Fickling, D. (2019, 21 mars). China Inc.'s Boeing Rival Just Won't Fly. *Bloomberg News*. <https://www.bnnbloomberg.ca/china-inc-s-boeing-rival-just-won-t-fly-1.1232313>

programmés, c'est-à-dire à la fin de décembre 2019, Comac avait réalisé seulement 840 heures sur les 4 200 prévus. Si les 6 prototypes volaient une heure et demie par jour, 365 jours par an, ils pourraient faire 3 285 heures sur les 3 360 heures restantes. Comme 2 prototypes ne sont utilisés que pour les essais au sol, il resterait 4 avions à utiliser en vol, dans une estimation optimiste basée sur la conduite des essais d'autres constructeurs aéronautiques, le C919 obtiendra la certification de la CAAC (Civil Aviation Administration of China) dans 2 à 3 ans, plus si l'on tient compte du rythme entrepris par Comac dans les heures de vol, une date autour 2025 ne serait pas une surprise (Fickling, 2019).

Mais le 30 octobre 2020, Wu Guanghui, concepteur en chef de C919, a déclaré à une conférence que le certificat de type serait obtenu au plus tard le 31 décembre 2021. En outre, la CAAC délivrera une autorisation d'inspection de type jusqu'au 30 novembre 2021, a ajouté Wu.¹²¹

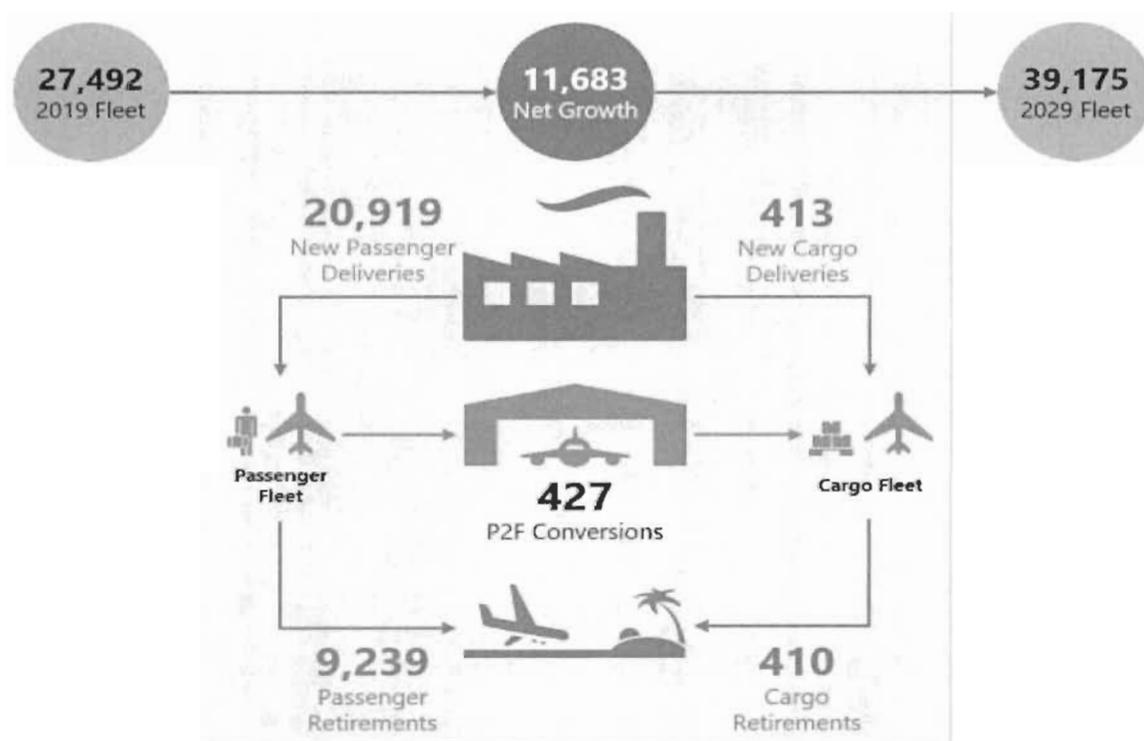
La Chine est actuellement le deuxième plus grand marché de consommation d'avions et de transport aérien du monde. En 2017, le trafic aérien du pays a augmenté de 6,2 %, contre 2,9 % en Amérique du Nord. Selon l'étude de Oliver Wyman (2019) d'ici 2029, nous prévoyons que la flotte mondiale atteindra 39 175 avions, en hausse par rapport à 2019, qui est de 27 492. Les avions narrow-body seront le plus grand bénéficiaire de cette expansion, passant d'environ 57,97 % de la flotte en 2019 à 65,80 % en 2029 grâce aux coûts d'exploitation, à l'autonomie et aux capacités qui leur permettent d'empiéter sur le territoire autrefois réservé aux larges corps (wide-bodies).¹²²

¹²¹ Perrett, B. (2020, 02 novembre). COMAC Affirms Plan For 2021 C919 Certification. *Aviation Week*. <https://aviationweek.com/air-transport/aircraft-propulsion/comac-affirms-plan-2021-c919-certification>

¹²² Cooper, T., Reagan, I., Porter, C. et Precourt, C. (2019). 2019-2029 Global Fleet & MRO Market Forecast Commentary. *Oliver Wyman*. <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2019/jan/global-fleet-mro-market-forecast-commentary-2019-2029.html#:~:text=Total%20MRO%20spend%20is%20expected,3.5%20percent%20over%20the%20deca> de

La figure 18 montre les prévisions de la demande mondiale d'avions et le tableau 11 montre la composition de la flotte mondiale par catégories d'aéronefs et régions géographiques entre 2019 à 2029.

Figure 18 - Prédiction de demande mondiale d'aéronefs 2019-2029



Source: Oliver Wyman

Tableau 11 - Composition de la flotte mondiale par classes d'avions et zones géographiques

2019 Flotte		Narrow-body	Wide-body	Jet régional	Turbopropulseur	
%		57,97%	19,96%	12,65%	9,42%	Total
Région	Amérique du Nord	4.208	1.277	1.905	643	8.033
	Europe de l'Ouest	3.294	1.057	466	502	5.319
	Asie-Pacifique	2.152	1.383	220	655	4.410
	Chine	2.819	414	143	-	3.376
	Amérique Latine	1.085	177	273	236	1.771
	Moyen-Orient	564	781	66	29	1.440
	Europe de l'Est	896	153	241	124	1.414
	Afrique	460	179	159	327	1.125
	Inde	460	67	4	73	604
	Monde	15.938	5.488	3.477	2.589	27.492

2029 Flotte		Narrow-body	Wide-body	Jet régional	Turbopropulseur	
%		65,80%	20,54%	8,49%	5,17%	Total
Région	Amérique du Nord	5.493	1.694	1.624	436	9.247
	Chine	6.146	780	261	22	7.209
	Europe de l'Ouest	4.752	1.383	365	311	6.811
	Asie-Pacifique	3.803	1.817	415	594	6.629
	Amérique Latine	1.582	364	277	164	2.387
	Moyen-Orient	906	1.278	47	46	2.277
	Europe de l'Est	1.169	240	252	82	1.743
	Inde	1.177	149	13	208	1.547
	Afrique	749	340	73	163	1.325
	Monde	25.777	8.045	3.327	2.026	39.175

Source : Adapte Oliver Wyman (2019)

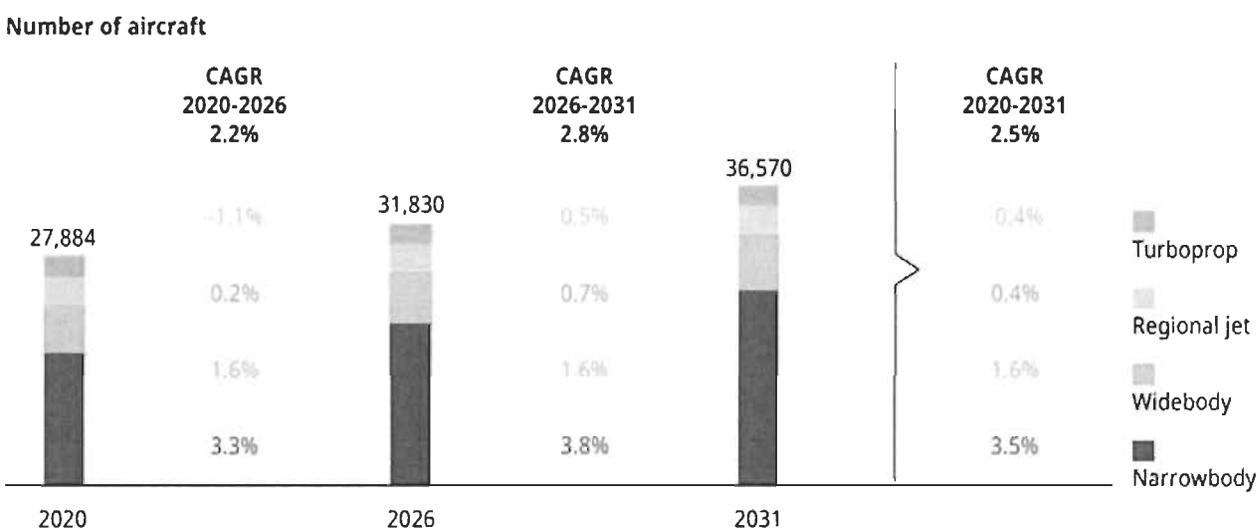
Dans les données contenues dans la figure 18 et tableau 11, il est vérifié que 11 683 avions seront ajoutés à la flotte mondiale entre 2019-2029. La classe des avions narrow-body passera de 15 938 à 25 777, soit une augmentation de 9 839 appareils, ce qui représente 84,21 % de l'augmentation de la flotte mondiale. Nous constatons que la Chine sera responsable de l'ajout de 3 327 avions de cette catégorie, ce qui représente 33,81 % de l'augmentation. En plus de la certification C919 dans votre pays, Comac devra obtenir les certifications de la FAA et AESA pour profiter de cette opportunité du marché aéronautique.

C'était la prévision avant Covid-19, avec l'avènement de la pandémie, le segment aéronautique a été l'un des plus touchés par les mesures sanitaires qui ont dû être prises pour contenir la contagion. Selon les prévisions, le secteur de l'aviation connaîtra une décennie d'incertitudes et, entre 2021 et 2024, des pressions financières considérables.

Alors que Covid-19 se répandait dans le monde entier, en 2020, l'industrie a perdu plus de US\$ 118 milliards, selon la International Air Transport Association (IATA).¹²³

Les prévisions de Oliver Wyman (2020-2031) présentées dans les figures 19 et 20 démontrent l'impact que Covid-19 a eu et aura sur l'industrie aéronautique.

Figure 19 - Prévision de demande mondiale d'aéronefs 2020-2031

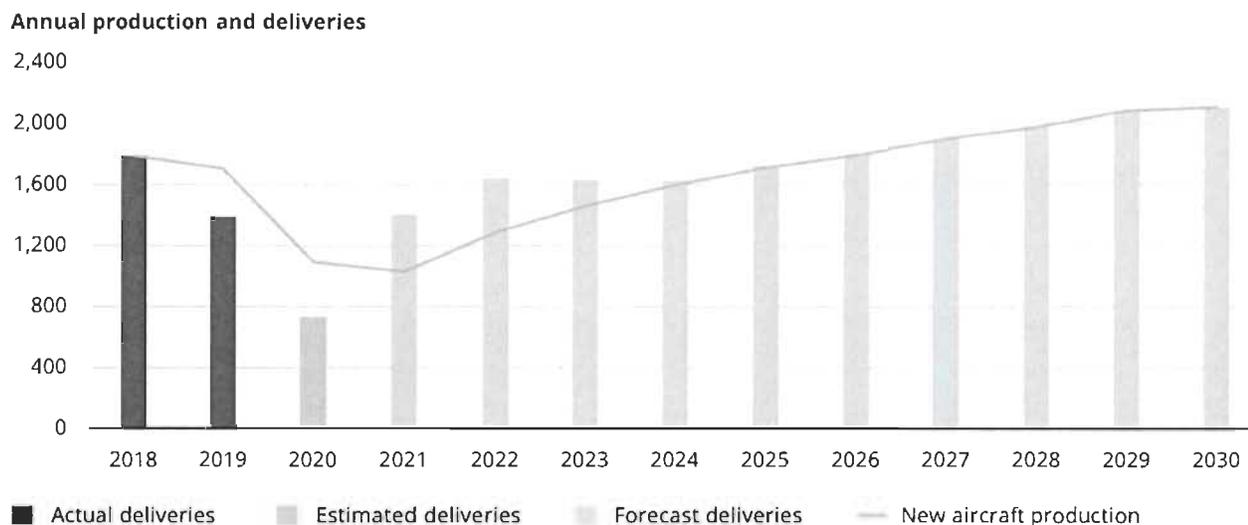


CARG - Compound annual growth rate = Taux de croissance annuel composé

Source : Oliver Wyman analysis (2021)

¹²³ Cooper, T., Reagan, I., Porter, C. et Precourt, C. (2019). 2019-2029 Global Fleet & MRO Market Forecast Commentary. Oliver Wyman. Lee, F. (

Figure 20 - Production et livraisons des aéronefs, 2018-2030



Le retard pris dans le développement et la certification du modèle a permis à Airbus et Boeing de finaliser la mise à jour de leurs modèles, faisant du C919 une génération technologiquement arriérée. Comparé aux nouvelles versions du 737 MAX et de l'A320 neo, le C919 dispose d'une autonomie maximale de 1/3 plus petite et d'une capacité de transport de 3/4 du poids des passagers et du fret que ses concurrents.

Même avec un prix de table inférieur d'environ 30 % à ses rivaux, les améliorations apportées aux moteurs, aux matériaux et aux systèmes avioniques ont permis à ses concurrents de consommer entre 9 et 10 % moins de carburant pour parcourir le même trajet, ce qui les rend plus efficaces sur le plan opérationnel.

Un autre facteur en faveur des modèles Boeing et Airbus est la question des licences pour les pilotes commerciaux. Étant donné que les pilotes sont formés et autorisés à piloter des modèles d'aéronefs individuels, ils ne peuvent généralement pas détenir de licences pour des modèles de différents avionneurs en même temps, même s'ils peuvent

faire de la formation de conversion à l'échange.¹²⁴ Il s'agit d'un facteur limitant pour le C919 car il est difficile pour un pilote commercial en dehors de la Chine d'échanger une licence d'un 737 ou A320 pour un autre modèle, déjà en raison des caractéristiques de la Chine (non démocratique), le gouvernement peut imposer l'échange obligatoire.

En ce qui concerne les difficultés et les lacunes dans la gestion du projet C919, nous avons constaté qu'il y avait des signes évidents de manque d'expérience et de maturité dans la conduite et l'intégration d'un projet complexe. Il est indéniable que la Chine a une grande connaissance dans le secteur aérospatial, le pays envoie déjà des astronautes dans l'espace depuis 20 ans, plusieurs entreprises d'État chinoises sont des fournisseurs de composants (rang 4, 3 et 2) à plusieurs fabricants de la chaîne aéronautique, de sorte que nous ne pouvons pas signaler qu'il n'y a pas de connaissance préalable en termes de domaines techniques et de gestion en termes l'industrie aérospatiale.

Cependant, le fait de posséder une expérience en matière de fourniture de matériaux et le développement aérospatial n'est pas un facteur qui garantit le développement d'un projet d'aéronef. Dans le cas de Mitsubishi et Comac, nous constatons que les deux entreprises sont des fournisseurs de composants aéronautiques et qu'elles avaient déjà développé et/ou participé à d'autres projets aéronautiques. Les conceptions d'avions modernes sont embarquées dans un ensemble de technologies complexes qui nécessitent une intégration entre les différents participants (entreprises et personnes), impliquant des processus et des procédures. Afin d'atteindre l'objectif du projet, il est nécessaire d'avoir l'intégration de l'information, des connaissances, des techniques et des expériences, c'est-à-dire que ces éléments sont partagés et intégrés dans la planification et l'exécution du projet, nous pouvons nommer cette intégration comme le savoir-faire. Dans son étude Castro, Bahli, Farias Filho et Barcaui (2019) soulignent

¹²⁴ Jiang, S. (2015, 2 novembre). China rolls out indigenous C919 jet in a bid to compete with Boeing, Airbus. *South China Morning Post*. <https://www.scmp.com/business/companies/article/1874867/china-rolls-out-indigenous-c919-jet>

que les critères de succès peuvent varier en fonction du type de projet, complexité, phases du cycle de vie, industries, nationalités, organisations (Müller et Jugdev, 2012 ; Müller et Turner, 2007), contexte et perspective (Khan *et al.*, 2013). Il convient également de noter que les différents intervenants peuvent avoir des perceptions et des attentes différentes quant au succès du projet, car ils peuvent avoir des perceptions différentes des critères de réussite et de rendement (Bryde et Robinson, 2005 ; Davis, 2014 ; 2017).¹²⁵ L'étude de Castro *et al.* (2019), renforce l'importance pour les organisations d'avoir des collaborateurs ayant une expérience antérieure dans un projet similaire lors de la planification et/ou de la mise en œuvre d'un projet. Soulignant que l'expérience d'un projet précédent n'est pas un facteur de succès garanti pour un projet futur, car chaque projet est un événement unique. Pour réussir un nouveau projet, l'équipe ou le chef de projet doit utiliser son savoir-faire pour l'adapter au nouveau scénario, en vérifiant les facteurs limitatifs couvrant les particularités, les spécificités, la culture organisationnelle de l'entreprise, délais, lacunes techniques et administratives, réseau de fournisseurs, partenaires, entre autres éléments qui impliquent le projet.

Réalisant une analyse évolutive des concurrents de Comac, nous constatons que Boeing a mis 50 ans (avec le modèle 707) pour concevoir et lancer des avions à succès et devenir le premier géant aéronautique au monde, Airbus fondé en 1970, issu de la fusion (consortium) de plusieurs entreprises aéronautiques européennes, créées entre 1910 à 1950, détenant ainsi une vaste expérience dans les projets aéronautiques, ce qui est corroboré par le premier projet de l'entreprise qui a été le modèle A300 qui est devenu le premier biréacteur wide-body au monde. Dans le cas de la Chine, nous voyons ce que l'industrie aéronautique du pays a développé en 20 ans (ARJ-21 et C919), malgré tous les problèmes que les projets ont connus et connaissent, ce que les Américains et les Européens ils ont fallu 50 ans, l'évolution de l'industrie aéronautique dans le pays est donc reconnaissable.

¹²⁵ Castro, M., Bahli, B., Farias Filho, J., et Barcaui, A. (2019). A contemporary vision of project success criteria. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 16(1), 66-77. <https://doi.org/https://doi.org/10.14488/BJOPM.2019.v16.n1.a6>

Pour illustrer cette évolution, nous mentionnons que l'ARJ-21 a eu besoin de 5 000 heures d'essais en vol pour être certifié, le C919 exigera 4 200 heures, soit une réduction de 800 heures, même s'il est supérieur aux 3 000 heures que Boeing et Airbus ont utilisées pour certifier les 737 et A320,¹²⁶ respectivement, soit un indicateur d'amélioration des processus et techniques.

Selon Chao (2017, cité dans Aerotime Team, 2017) « Vous ne pouvez pas développer le talent, l'expertise et les connaissances et réunir des centaines de fournisseurs pour fabriquer un avion commercial sans la possibilité de retards majeurs ou même d'échec complet dans un si court laps de temps », a expliqué Chao, le directeur général de All In Consulting, basé à Los Angeles.¹²⁷ Le développement de l'expertise et des connaissances demande du temps pour être développé et appris.

Jean-François Dufour, analyste en chef chez DCA Chine-Analyse, abonde dans le même sens :

La véritable mission du C919 est de conquérir un marché domestique dominé par ses deux concurrents étrangers. Dans 10 à 15 ans, un C919 de nouvelle génération, ou d'autres modèles développés par Comac, pourrait devenir de véritables concurrents sur le scénario global (Qiu et Hephher, 2020).

Le modèle auquel Dufour fait référence pourrait être le CR929. Le Comac a un partenariat avec le constructeur russe UAC pour développer un avion wide-body, le CR929, avec le vol inaugural prévu pour 2023. Dans l'industrie de l'aviation de défense (militaire), il est incontestable que la Russie a hérité la majeure partie du talent

¹²⁶ Hashim, F. (2018, 26 octobre). ANALYSIS: Comac marches forward with ARJ21 and C919. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/analysis/analysis-comac-marches-forward-with-arj21-and-c919/129587.article>

¹²⁷ Staff Aerotime Hub (2017, 5 mai). Made in China: why C919 can hardly be called Chinese. *Aerotime Hub*. <https://www.aerotime.aero/aerotime.team/447-made-in-china-why-c919-can-hardly-be-called-chinese>

aéronautique de l'URSS (Union des Républiques Socialistes Soviétiques). L'URSS pendant la guerre froide¹²⁸ a monopolisé, avec les États-Unis, le développement des meilleurs avions militaires, ayant à divers moments développés des modèles supérieurs aux Américaines et européennes.

Avec l'effondrement de l'URSS, l'industrie aéronautique soviétique a été pratiquement brisée, mais avec le soutien du gouvernement russe, ils ont pu garder une partie des professionnels d'indiscutable brillance et capacité technique et qui sont maintenant alignés avec les Chinois, qui pour l'instant ne possèdent pas encore cette capacité, mais ils ont une énorme influence économique qui se traduit par la capacité d'investissement de ressources financières suffisantes pour soutenir le développement du CR929.

Si le programme d'échange entre les deux entreprises progresse et qu'elles peuvent surmonter les problèmes politiques, de transfert de technologie et surtout réussir à gérer les programmes, qui ont été le facteur prépondérant des divers échecs et erreurs qui ralentissent le développement du C919, parce que les Chinois et les Russes n'ont pas réussi à gérer leurs programmes récents, ses projets ont soufflé la valeur attendue, eue des retards dans le lancement de ses avions et n'ont pas réussi à gagner des commandes en dehors des marchés intérieurs, le CR929 pourrait devenir le premier avion depuis le MD11 à défier le duopole de Boeing et Airbus dans le segment wide-body.

Le CR 929-600 n'est pas une idée folle. Combinés, les deux ont les prouesses techniques pour construire un avion compétitif. La demande projetée des compagnies aériennes chinoises pour les wide-bodys promet des centaines de commandes, ce qui devrait garantir sa rentabilité. Les maîtres politiques du projet semblent également accepter la réalité, demandant aux fournisseurs occidentaux de soumissionner les

¹²⁸ La guerre froide a été un conflit politique, militaire, technologique, économique, social et idéologique entre les deux nations entre 1945 et 1991.

technologies de propulsion et de systèmes les plus compétitives plutôt que de développer les leurs.¹²⁹

3.3 RETARDS DU PROJET BOEING 787 DREAMLINER

Le Boeing 787 Dreamliner a été le premier projet de l'industrie aéronautique à utiliser à grande échelle des matériaux composites¹³⁰ et qui a révolutionné la forme et la structure que Boeing employait dans la construction de ses avions.

Dans le cas du 787, Boeing a appliqué un nouveau concept de développement et de construction d'un avion civil, le projet a été construit sur 2 piliers, qui sont :

1. Externalisation du processus de développement, de construction et d'assemblage des composants du projet. Pour la première fois dans un nouveau projet, Boeing a délégué à ses fournisseurs la responsabilité du développement d'une grande partie des composants du projet, ce qui signifie que les fournisseurs prendraient en charge les risques financiers et technologiques du projet.
2. En plus de la sous-traitance (nous n'utilisons pas le terme partenariat, car initialement le processus de partenariat entre Boeing et ses fournisseurs n'a pas été adopté), les entreprises qui sont devenues fournisseurs du projet avaient sous leur responsabilité la construction de grandes parties de l'avion qui seraient transmises à Boeing en sous-ensembles, donc Boeing agirait dans ce projet avec un monteur d'aéronef.

¹²⁹ Taking aim. (2017, Oct). *Flight International*, 192, 5. <https://search-proquest-com.biblioproxy.uqtr.ca/docview/1953816690?accountid=14725>

¹³⁰ Est un matériau composé de deux ou plusieurs matériaux constitutifs avec des propriétés physiques ou chimiques significativement différentes qui, lorsqu'ils sont combinés, produisent un matériau avec des caractéristiques différentes de la composants individuels. Dans le cas de 787, on a principalement utilisé du plastique renforcé en fibre de carbone pour remplacer l'aluminium qui est le matériau le plus couramment utilisé dans les avions commerciaux.

Le modèle adopté par Boeing dans le mode de planification et de fabrication du 787 ressemble beaucoup au processus adopté par une grande partie de l'industrie automobile depuis les années 1990. Plusieurs constructeurs automobiles ont adhéré à l'externalisation de la fabrication de divers composants de leurs produits qui étaient autrefois fabriqués à l'interne. L'option d'externaliser la production est spécifique et particulière à chaque fabricant, mais certains facteurs sont communs parmi les entreprises automobiles. Kakabadse et Kakabadse (2000, cité dans Essays, UK, 2018)¹³¹ signalent que les principales raisons de l'impartition sont les suivantes :

- Économique : une plus grande spécialisation dans la prestation de services, car l'impartition permet des économies d'échelle et la longévité de la demande pour l'activité ;
- Qualité : l'accès aux connaissances, la compétence et l'orientation des fournisseurs potentiels et la couverture géographique sont accrus ; et
- L'innovation : l'amélioration de la qualité par l'innovation et le développement de nouveaux produits de service peuvent entraîner de nouvelles demandes.

Bendor-Samuel (1998, cité dans Essays UK, 2018) affirme également que :

L'impartition fournit certains pouvoirs qui ne sont pas disponibles dans les services internes d'une organisation. Ce pouvoir peut avoir de nombreuses dimensions : économies d'échelle, expertise des processus, accès au capital, accès à une technologie coûteuse, etc. La combinaison de ces dimensions crée les économies de coûts inhérentes à l'externalisation, car le fournisseur d'externalisation (l'organisation spécialisée dans une fonction commerciale particulière) a l'économie d'échelle, l'expertise et les investissements en capital nécessaires pour mener à bien les mêmes

¹³¹ Staff Essays, UK. (November 2018). Outsourcing in the Automotive Industry. *UKEssays*. <https://www.ukessays.com/essays/business/the-global-automotive-industry-and-manufacturing-outsourcing-business-essay.php?vref=1>

tâches de façon plus efficiente et efficace que les services internes de l'acheteur de l'impartition.

L'externalisation de fabrication est une option que les entreprises peuvent choisir de convertir la base de coûts fixes pour la production en une base de coûts plus variable (Danese, 2011, cité dans Ciravegna, Romano et Pilkington, 2013).¹³² Selon un récent sondage mené par PA Consulting et Harvey Nash auprès de plus de 2 500 dirigeants de l'information, la réduction des coûts est la raison la plus souvent invoquée pour l'impartition, mais la deuxième raison la plus importante est l'accès à des compétences qui ne se trouvent pas à l'interne (Taylor, 2011, cité dans Ciravegna *et al.*, 2013).

Selon Ciravegna *et al.*, (2013) :

L'externalisation exige que les entreprises développent des relations plus approfondies avec les fournisseurs, y compris des partenariats stratégiques (Hong *et al.*, 2009 ; Jain, Wadhwa et Deshmukh, 2009 ; Danese et Romano, 2011), la participation précoce des fournisseurs au développement de produits (Danese et Filippini, 2010), des processus d'innovation plus ouverts et inclusifs (Gassmann, Enkel et Chesbrough, 2010) et une modularité accrue (Howard et Squire, 2007). Ces caractéristiques sont particulièrement évidentes dans l'industrie automobile (Clark et Fujimoto, 1991 ; Sako, 2002).

L'externalisation et le partenariat sont généralement confondus entre eux. Bien qu'il y ait une relation d'affaires dans les deux, ce qui les différencie c'est le niveau de la relation. Dans l'externalisation une entreprise décide qu'il est plus avantageux, tangent à l'aspect financier et la capacité de production, sélectionne un fournisseur pour assumer la production d'un composant qui est actuellement fabriqué en interne ou non. Chaque

¹³² Ciravegna, L., Romano, P. et Pilkington, A. (2013). Outsourcing practices in automotive supply networks: an exploratory study of full service vehicle suppliers. *International Journal of Production Research*, 51:8, 2478-2490, DOI: 10.1080/00207543.2012.746797.

organisation a des besoins et des spécificités pour choisir un fournisseur qui produira les composants, dans le processus d'externalisation de l'entreprise peuvent transmettre à son fournisseur (tiers) une partie de ses connaissances et du savoir-faire. Dans le partenariat, en plus de couvrir tous les aspects de l'externalisation et il est ajouté la responsabilité de développer, améliorer et coproduire conjointement avec l'entrepreneur ses produits, avec cela, en règle générale, il devient un fournisseur exclusif pour le produit, de sorte que dans le partenariat le fabricant peut partager et/ou transférer les risques financiers et technologiques de son produit à son partenaire (fournisseur).

Selon Cagli *et al.* (2012), classe en 4 catégories l'interface entre les fournisseurs et/ou les contractants de la chaîne aéronautique, étant :

1. Interface interactive : Lorsque le contractant principal et les fournisseurs discutent de différents problèmes techniques afin de développer les solutions les plus appropriées aux besoins du composant. Cette interface est marquée par une collaboration intense et un échange de connaissances ;
2. Interface de traduction : Le contractant principal établit les spécifications critiques de la fonctionnalité des composants et les transfère aux fournisseurs. Ces derniers développent ensuite eux-mêmes le composant afin de répondre à ces spécifications ;
3. Interface spécifiée : Le contractant principal prescrit en détail toutes les informations relatives concernant aux caractéristiques du composant et à la façon dont il doit être fabriqué ;
4. Interface standardisée : C'est le cas ou lorsque les fournisseurs fournissent des composants standardisés pour être intégrés au produit final avec peu ou pas de modifications. Le contractant principal agit comme un acheteur.

Tant dans le partenariat que dans l'externalisation, nous avons des points positifs et, comme toute décision, choix ou option, il y a des points négatifs. Chaque entreprise doit évaluer ses particularités et les raisons pour lesquelles elle choisit entre l'externalisation ou le partenariat. Embraer est un exemple de la façon dont

l'externalisation et l'établissement de partenaires ont permis le développement et le lancement de sa famille E-Jets (E170, E175, E190 et E195) en plus du modèle ERJ-145 (voir tableau 2, page 10). Au milieu des années 1990, l'entreprise avait été privatisée et ne disposait pas de ressources financières suffisantes pour soutenir la planification et la conception de ses nouveaux projets, et la solution trouvée pour permettre le lancement de ces produits a été de sélectionner parmi ses fournisseurs qui pourraient jouer le rôle de partenaire, permettant ainsi à ces partenaires d'investir dans le développement du produit et de concevoir avec Embraer leurs nouveaux modèles. Pour développer ses nouveaux produits, Embraer a suivi la méthodologie Integrated Product Development (IPD) afin de maximiser l'interaction entre les équipes partenaires des programmes, permettant à tous les participants dans les projets de mieux communiquer et de comprendre la dynamique et les objectifs de chaque groupe.¹³³

Selon Ferreira *et al.* (2011), Embraer avait comme principe directeur dans le développement de la famille E-Jets et ERJ-145, la minimisation de son propre investissement, résultant de sa situation financière, qui était en partie similaire à la décision de Volkswagen d'opter pour le système de production de consortium modulaire pour la construction et le développement de camions lorsque la société a décidé de construire l'usine de Resende dans l'État de Rio de Janeiro, au Brésil.

Dans le cas du modèle 787, Boeing a décidé de réaliser la conception et la construction de son modèle en adoptant plusieurs concepts que Volkswagen et Embraer ont faits au Brésil, cependant, nous pouvons voir que le benchmarking que Boeing a fait des deux sociétés au Brésil, ainsi que celui de Toyota, a été extrêmement mal mené et a apporté un résultat totalement différent de celui obtenu par les 3 autres sociétés. Au cours des retards du 787, Boeing a dû repenser et modifier plusieurs des lignes directrices de son plan d'affaires et plan stratégique pour l'avion.

¹³³ Figueiredo, P., Silveira, G. et Sbragia, R. (2008). Risk sharing partnerships with suppliers: the case of Embraer. *Journal of Technology Management & Innovation*, 3(1), 27–37. DOI: 10.1142/9789812770318_0017.

Indirectement, le choix du 787 par Boeing est lié aux attentats terroristes du 11 septembre 2001. Après cet événement, il y a eu une baisse de la demande de transport aérien associée à l'augmentation du prix du pétrole, due à l'invasion en Irak à la fin des années 1990. Les compagnies aériennes avaient besoin d'un nouvel avion wide-body d'une capacité de 250 à 300 PAX pour remplacer les modèles Boeing 757 et 767 et Airbus A300, A310 et A330 qui optimise le coût d'exploitation (le principal coût d'exploitation d'une compagnie aérienne est le carburant). Dans ce scénario, Boeing a été obligé d'abandonner son projet appelé Sonic Cruiser, un avion d'aile en delta et vitesse subsonique (0,98 Mach - 1 169 km/h) et qui utiliserait du matériel composite dans sa structure. Les études sur l'application des matériaux composites effectués par Boeing sur le Sonic Cruiser ont été partiellement utilisées dans le 787. Pour répondre à la demande des compagnies aériennes, Boeing a annoncé en 2003 le projet 7E7 qui, en avril 2004, a été baptisé comme 787 Dreamliner. Le nouvel avion se concentrera sur l'efficacité aérodynamique avec l'adoption de matériaux composites et le carburant et l'adoption d'un système électrique révolutionnaire alimenté par des batteries lithium ion, dont la livraison prévue de la première unité serait en 2008. Toutefois, selon Slayton et Spinardi (2015), la décision initiale de Boeing d'adopter des matériaux composites à grande échelle sur le 787 était un besoin de réagir face à Airbus parce qu'à l'époque, Boeing était en désavantage commercial et technologique par rapport à Airbus et devait lancer un produit innovant pour regagner des parts de marché perdues pour son rival.

Le Boeing 787 est un avion diviseur du marché aéronautique compte tenu de son évolution aérodynamique, des matériaux et technologique. Avec le 787, la compagnie avait l'intention d'améliorer l'expérience de voyage des passagers par l'adoption de matériaux composites (qui ne souffrent pas du problème de corrosion – voir la figure 21, page 115) qui ont permis l'augmentation de l'humidité de l'air et de la pression atmosphérique dans l'avion. Pour les compagnies aériennes, le 787 permettrait d'effectuer des voyages sans escales entre les principaux aéroports grâce à leur meilleure efficacité dans la combustion du carburant. Tous ces attributs que possède le 787 sont formidables

et si ce n'était pour une erreur primaire que Boeing a encourue en externalisant une grande partie de son nouvel avion à ses fournisseurs autres qui n'étaient pas habitués à avoir la responsabilité d'effectuer des activités jusqu'ici effectuées par Boeing. L'avion aurait pu souffrir des problèmes de retard comme chaque produit qui est dans sa conception et la construction implique des innovations, mais le retard de 3 ans n'aurait pas eu lieu. L'origine du retard de 3 ans subi par le projet 787 remonte à 2003, lorsque certains membres du conseil d'administration de Boeing ont émis un ultimatum pour que le projet 787 ait un coût de développement de 40 % de ce que Boeing avait dépensé 13 ans plus tôt pour développer le modèle 777 (coût de développement d'US\$ 7 milliards) et que le coût d'assemblage du 787 soit de 60 % de la valeur qui était dépensée en 2003 pour le montage du 777. Enfin, le conseil a approuvé une valeur de développement d'US\$ 7 milliards, mais en partant du principe que les sous-traitants (fournisseurs) paieraient la majeure partie de la valeur du projet.¹³⁴ Et c'est précisément cette prémisse, comme nous le verrons dans les pages suivantes, qui ont été le point de départ des problèmes de retards qui ont eu des répercussions sur le projet.

La décision de déléguer aux fournisseurs la majeure partie du développement du 787 n'a pas été unanime, certains membres du conseil d'administration de Boeing étaient réticents et ont averti que le modèle de développement et de construction de l'avion apporterait des risques au projet. Ces membres voulaient d'abord fabriquer en interne, certifier, et réussir à intégrer l'avion avec les compagnies aériennes, puis Boeing pourrait se concentrer sur la gestion du processus d'externalisation en collaboration avec des partenaires stratégiques (Nolan, 2012).

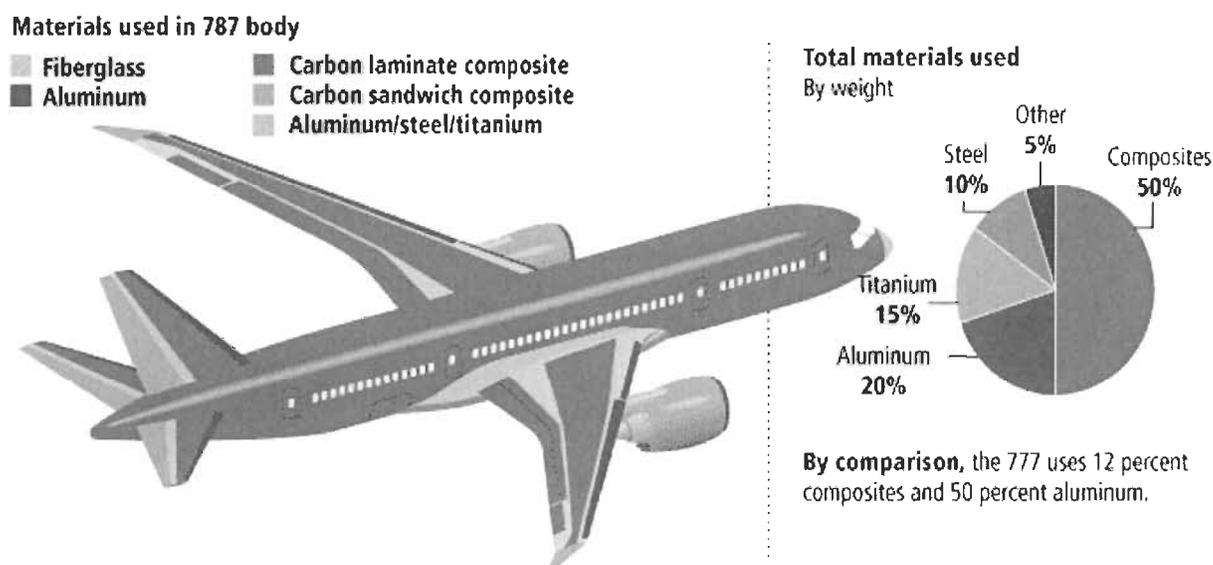
Selon Nolan (2012) :

Cette position a été défendue à partir des connaissances « tribales » de Boeing selon lesquelles pas plus de quatre changements/technologies

¹³⁴ Tkacik, M. (2019, 18 septembre). Crash Course - How Boeing's managerial revolution created the 737 MAX disaster. *The New Republic*. <https://newrepublic.com/article/154944/boeing-737-max-investigation-indonesia-lion-air-ethiopian-airlines-managerial-revolution>

importants devraient être abordés dans un nouveau programme d'avions. L'expérience a montré que plus de quatre ne laisseraient pas suffisamment de marge de manœuvre organisationnelle pour faire face efficacement aux changements majeurs inévitables et inconnus qui seraient découverts lors de l'exécution du nouveau programme d'avions.¹³⁵

Figure 21 - Matériaux utilisés dans le corps 787



Source : Modern Airlines

Le 26 avril 2004, Boeing a officiellement lancé son nouvel avion le 787 Dreamliner, la compagnie ANA, avec une commande de 50 unités, serait la société de lancement du produit. Le premier vol d'essai était prévu pour octobre 2007 et le premier avion a été livré en mai 2008.

À la fin de l'année 2004, Boeing avait déjà accumulé 237 commandes pour le modèle, un fait inédit, car jusque-là aucun autre avion n'avait pu obtenir un carnet de commandes égal à celui-ci en 7 mois. Suivant le postulat que le nouvel avion avait la

¹³⁵ Nolan, R. L. (2012). Ubiquitous it: the case of the Boeing 787 and implications for strategic IT research. *Journal of Strategic Information Systems*, 21(2), 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2011.12.003>

majorité de ses coûts de développement effectués par les fournisseurs et que son coût d'assemblage était de 60 % de la valeur d'un 777, Boeing a vérifié que l'assemblage de l'avion dans son usine devrait être effectué en 3 jours (cette période ne comprend pas l'intégration de l'aile, de la queue, de la peinture finale et des tests finaux), un délai extrêmement audacieux, car à l'époque un avion de la taille du 787 prenait environ 30 jours pour être monté. De sorte que l'assemblage final devrait être organisé de manière plus légère et plus simple. Ces axiomes¹³⁶ ont forcé l'équipe du projet 787 à mener une approche entièrement nouvelle pour l'entreprise, visant à atteindre ces objectifs, Boeing a confié à ses fournisseurs et sous-traitants la responsabilité de l'assemblage de différents composants et de leur livraison par sous-ensembles, pouvant ainsi effectuer l'assemblage final de l'aéronef en 3 jours et dans les limites de la valeur d'assemblage.¹³⁷

Le choix du mode de fabrication, ainsi que la question de l'établissement de « partenariats » dans le développement du 787 en plus des similitudes avec les cas de Embraer et Volkswagen trouvent également des résonances au système de production que Toyota a commencé à adopter dans les années 1990. Selon Exsyn Aviation Solutions, la production de voitures Toyota est ce qu'on appelle un système sociotechnique intégré. Ce qui signifie essentiellement que l'ensemble de la chaîne de valeur (des fournisseurs à Toyota lui-même) est axé sur l'optimisation conjointe de l'ensemble du processus de production des voitures. Cette optimisation conjointe s'étend même jusqu'à l'optimisation des fournisseurs des fournisseurs de Toyota. Cependant, Toyota suit deux conditions de base pour réussir dans ce modèle :

1. Seules les technologies et les étapes de production existantes et éprouvées sont externalisées aux fournisseurs et ;

¹³⁶ Vérité admise sans démonstration et sur laquelle se fonde une science, un raisonnement ; principe posé hypothétiquement à la base d'une théorie déductive.

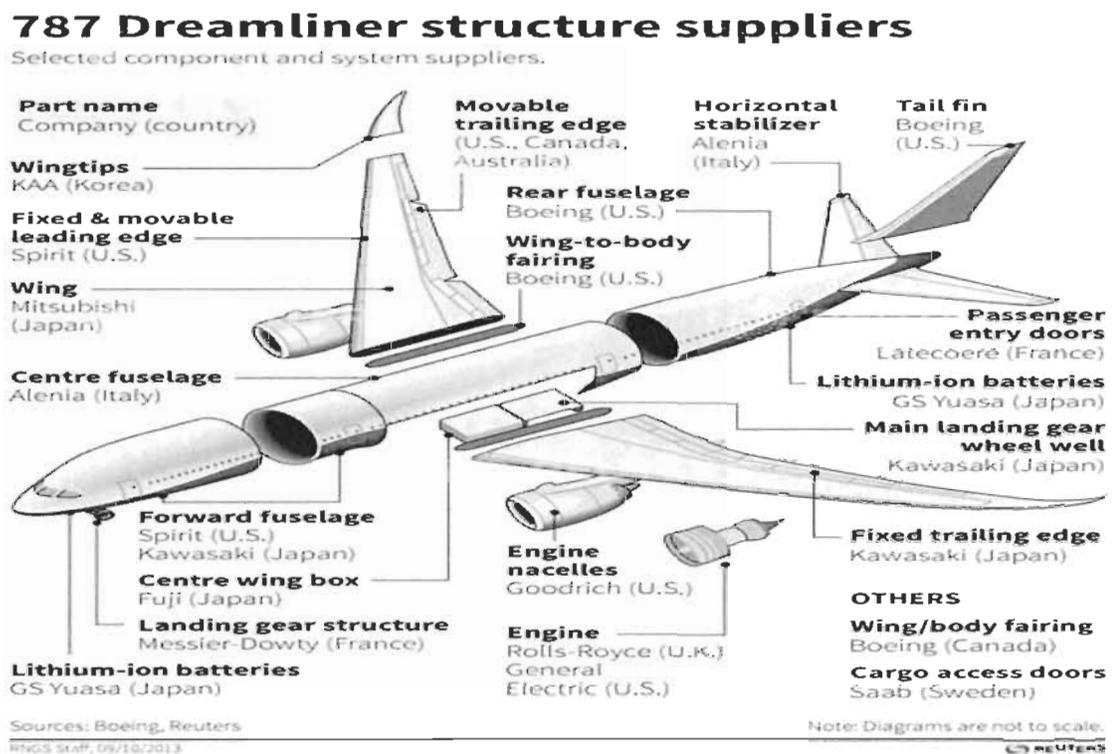
¹³⁷ Staff Exsyn Aviation Solutions. (2010, 07 mars). What can be learned from the Boeing 787 production troubles. *EXSYN Aviation Solutions*. <https://www.exsyn.com/blog/learn-from-boeing-787-production-troubles>

2. Toyota prend des parts dans les entreprises qui les fournissent et place de jeunes gestionnaires prometteurs à la tête de ces entreprises.

Boeing n'a pas respecté ces deux aspects. De nouvelles technologies étaient produites par les fournisseurs (nouveaux moteurs, nouveaux systèmes électriques, nouveaux logiciels, nouveau fuselage). Au total, 70 % des activités de développement et de production de 787 ont été externalisées et Boeing conservait le modèle classique du client fournisseur.

En septembre 2005, Boeing et 43 fournisseurs qui ont été embauchés pour participer au projet ont achevé la configuration du 787. Parmi les 43 fournisseurs, 16 étaient situés dans 9 pays (Japon, Corée du Sud, Australie, Italie, France, Royaume-Uni, Suède, Canada et États-Unis) qui seraient responsables de l'assemblage des sous-ensembles, la structure de la chaîne de production est représentée dans la figure ci-dessous :

Figure 22 - Structure de la chaîne d'approvisionnement du 787



Ces fournisseurs ont été appelés intégrateurs et enverraient les sous-ensembles assemblés au montage final du 787 dans les unités de Boeing aux États-Unis, situées à Everett, dans l'État de Washington, ou à North Charleston, en Caroline du Sud. Pour accélérer et permettre l'envoi et la réception de ces sous-assemblages, Boeing a modifié quatre unités du 747-400 également connu sous le nom de 747 Dreamlifters pour transporter les sous-assemblages. Pour faciliter la planification du processus de montage du 787, Boeing a utilisé un logiciel de Dassault Systèmes qui fonctionne sur trois niveaux (conception de l'avion, simulation d'essai et SCM). Dans la partie conception et assemblage, le logiciel a permis à l'entreprise de simuler la fabrication et le montage de l'avion, en trouvant à l'avance des problèmes qui émergeraient dans l'assemblage.¹³⁸ En ce qui concerne la SCM, Boeing a utilisé l'outil Exostar Supply Chain Management

¹³⁸ Wallace, J. (2006, 6 décembre). Virtual rollout of the 787 - Boeing workers watch computer simulations of new plane. *Seattle Pi*. <https://www.seattlepi.com/default/article/Virtual-rollout-of-the-787-1221725.php>

Solution pour superviser le cycle de vie complet des commandes et le processus de retour à travers les différents niveaux de partenaires, tout en assurant le suivi des calendriers de planification, de la consommation et la gestion du réapprovisionnement de ses partenaires. Six aéronefs ont été prévus pour les essais en vol. Toute cette structure et cette planification du 787 étaient considérées apparemment comme un mélange parfait de nouvelles technologies et d'innovations de la ligne de production en fait la mesure dans laquelle 787 ont augmenté le portefeuille de commandes. Paradoxalement, les problèmes de production et d'intégration accumulaient dans la même proportion.

3.3.1 Premier retard

Au début de 2007, des rumeurs ont commencé à circuler dans la presse spécialisée dans l'aéronautique et d'affaires, selon lesquelles des fournisseurs avaient des difficultés à respecter les délais prévus. Parmi les problèmes rencontrés par les fournisseurs figurait la difficulté d'acquérir des machines qui n'existaient pas. Les constructeurs japonais Kawasaki et Mitsubishi ont dû développer de nouveaux équipements et techniques pour fabriquer des fuselages et des ailes en composite. Par exemple, les fabricantes nippones ont construit des autoclaves d'une taille sans précédent pour contrôler soigneusement la pression et les températures. Kawasaki a construit un autoclave de 17 mètres pour traiter des sections de fuselage de 9 ou 10 mètres de long, tandis que Mitsubishi a construit un autoclave d'une longueur intérieure de 36 mètres afin de traiter les caissons d'ailes (Norris, 2009, cité dans Slayton et Spinardi, 2015).

Déjà d'autres fournisseurs n'avaient pas suffisamment d'expérience ou de maturité pour développer le processus ambitieux requis par 787 pour la production de sous-assemblages découlant de l'inexpérience dans la planification et la production de ces sous-compositeurs selon les spécifications du projet, car ils n'étaient pas habitués à collaborer dans diverses couches de la chaîne d'approvisionnement dans le développement de projets coordonnés. Ces fournisseurs ne disposaient pas d'une aide directe de Boeing dans le

cadre de leurs activités de renforcement des capacités, ce qui leur permettrait d'acquérir l'expérience et les connaissances nécessaires pour mener à bien les activités, les procédures et les tâches qui leur ont été confiées.

Le 5 septembre 2007, il a été annoncé qu'il y aurait un délai de 3 mois pour le lancement des essais en vol, en passant d'octobre 2007 à janvier 2008 et en conservant inchangée la date de livraison du premier avion. Les raisons de ce retard étaient le travail de production hors séquence, le manque de pièces - en particulier le manque de fixations (attaches) et les défaillances dans l'intégration logicielle résultant de sa nouvelle technique de production.

Même avec un outil avec d'excellentes fonctionnalités pour gérer le SCM tels que Exostar, effectivement aussi bien Boeing que certains de ses fournisseurs rang 1, n'étaient pas conscients des problèmes de retards de parties des sous-composants qui avaient été transmis à d'autres fournisseurs de rang 2 et 3. Par exemple, Vought (rang 1) était responsable du fuselage arrière du 787, a engagé Advanced Integration Technology (AIT) pour agir comme intégrateur de système dans le rang 2 sans en informer Boeing. Dans le rôle d'intégrateur, l'AIT a dû coordonner avec d'autres fournisseurs de rang 2 et 3 des attributions qui étaient des Boeing et qui ont été déléguées à Vought.¹³⁹ Boeing n'a pas fourni de soutien et de formation à Vought pour effectuer ses nouvelles missions, et Vought a agi de la même façon et a transmis sa responsabilité à l'AIT sans sa formation. Ce qui s'est passé, c'est que bon nombre des fournisseurs des rangs 2 et 3 qui ont été sous-traités par les fournisseurs intégrateurs (responsables de l'assemblage des sections) n'avaient pas une culture de responsabilité technique et opérationnelle ou de formation et n'inséraient pas d'informations précises et opportunes dans le logiciel Exostar.

¹³⁹ Tang, C. S., Zimmerman, J. D. et Nelson, J. I. (2009). Managing New Product Development and Supply Chain Risks: The Boeing 787 Case, *Supply Chain Forum: An International Journal*, 10:2, 74-86, DOI: 10.1080/16258312.2009.11517219.

3.3.2 Deuxième retard

Le 10 octobre 2007, il a été annoncé que le premier vol d'essai avait de nouveau été retardé de 3 mois et que la livraison du premier avion serait retardé de 6 mois, la nouvelle date du premier vol d'essai pour avril de 2008 et la livraison du premier avion pour novembre ou décembre 2008. Le deuxième délai était justifié en raison de problèmes dans la SC interne et externe, la pénurie persistante de fixations et la continuité des problèmes dans le logiciel.

À la suite du second retard, Boeing a annoncé le 17 octobre 2007 que Mike Bair, chef du projet 787, serait transféré au poste de vice-président de la stratégie commerciale et du marketing des avions commerciaux et à sa place prendra en charge le vétéran gestionnaire du programme des écrous et boulons Pat Shanahan. Le directeur général de Boeing Commercial Airplanes, Scott Carson, a déclaré que M. [Pat Shanahan] « Avait l'expérience et les antécédents éprouvés dans la gestion de programmes complexes et exigeants lui permettront de s'appuyer sur le succès de l'équipe 787 alors que nous relevons les défis auxquels nous sommes confrontés pour mettre notre nouveau système de production entièrement en ligne. »¹⁴⁰

L'échange était déjà attendu par le marché après l'annonce du deuxième retard, qui continue à provenir des mêmes problèmes qui étaient responsables du premier retard, démontrant ainsi que la société n'a pas été en mesure de résoudre rapidement la pénurie de pièces et les problèmes de production parmi les différents fournisseurs du programme.

Le 787 souffrait encore avec le nouveau modèle de production, où les fournisseurs sélectionnés devaient envoyer de grandes parties de l'avion déjà assemblé et en raison de l'inexpérience de ces fournisseurs dans l'exécution de l'assemblage de divers composants

¹⁴⁰ Lunsford, J. L. (2007a, 17 octobre). Boeing replaces head of 787 Dreamliner program. *Wall Street Journal*. <https://search-proquest-com.biblioproxy.uqtr.ca/docview/399050468?accountid=14725>

qui avant le 787 ont été assemblés par Boeing. Par conséquent, les partenaires ont agi comme assembleurs, une activité à laquelle la grande majorité n'était pas familière. En raison du manque d'expérience antérieure, le projet 787 présentait plusieurs problèmes de conception nécessitant des études et des corrections sur le projet, ce qui est parfaitement normal et banal dans les nouveaux projets aéronautiques, mais qu'en raison du mode de fabrication que Boeing a adopté pour l'avion, cette responsabilité a été transmise aux fournisseurs et le manque de connaissances et d'expérience de ceux-ci rendaient le processus de réadaptation et d'application de corrections complexes et léthargiques. Étant donné que plusieurs fournisseurs n'ont pas été en mesure d'assembler les grandes sections du 787, Boeing a demandé que les sections non finies soient envoyées à l'usine de Everett pour que l'entreprise effectue le reste de l'assemblage, mais la ligne de production du 787 n'avait pas été conçue pour effectuer cette activité.

Ce n'est qu'après avoir vérifié que le retard était dû en partie au manque d'expérience, de standardisation et d'intégration de certains fournisseurs que Boeing a lancé un processus de collaboration et de conseils directs à ce en envoyant divers ingénieurs à tous les niveaux de la SC. Scott Carson, directeur du programme 787, a reconnu que : « En plus de la surveillance, vous avez besoin d'un aperçu de ce qui se passe dans ces usines. Si nous avions eu une connaissance adéquate, nous aurions pu aider nos fournisseurs à comprendre les défis. »¹⁴¹

Le 11 décembre 2007, Carson a déclaré lors d'une conférence de presse que le 787 ne présenterait plus de retards, comme nous le verrons ci-dessous cette déclaration était erronée, car il y a eu six autres retards dans le projet Dreamliner.

¹⁴¹ Staff DN (2009, 25 août). What's Causing Huge Delays for the Boeing 787 Dreamliner? *DesignNews*. <https://www.designnews.com/materials-assembly/whats-causing-huge-delays-boeing-787-dreamliner>

Le deuxième retard du 787 a entraîné environ US\$ 1 milliard de coûts supplémentaires et une réduction estimée d'US\$ 3,5 milliards de revenus pour l'année de 2008.¹⁴²

3.3.3 Troisième retard

Le 16 janvier 2008, Boeing a annoncé le troisième retard du 787. Le vol inaugural a été retardé de trois mois (nouvelle date juillet 2008) et la livraison du premier avion en janvier 2009.

Boeing a affirmé que ce nouveau retard découle de la poursuite des problèmes liés à la SC du 787. Ce retard était lié à la question de la difficulté que certains fournisseurs stratégiques ont rencontrée avec l'assemblage des sous-ensembles, qui impliquait l'absence de certaines pièces ainsi que le savoir-faire pour l'assemblage. En raison de l'adversité persistante, Boeing a préféré que ces fournisseurs envoient les sections partiellement assemblées à l'entreprise pour terminer l'assemblage,¹⁴³ cette décision est un revers majeur dans la conception originale de l'avion, mais c'était le seul moyen de résoudre les problèmes d'assemblage des grandes sections en utilisant l'expertise que la société possédait dans son usine.

Nous pouvons constater que dans le troisième retard, Boeing a constaté que certains de ses fournisseurs stratégiques n'avaient pas la capacité d'accomplir les responsabilités assumées et, que les difficultés auxquelles les provisoires étaient confrontés étaient complexes et qu'elle exigeait que Boeing lui-même accomplisse certaines tâches. Les difficultés concernaient plusieurs composantes, allant des connaissances techniques à la SCM, en passant par la structure physique et d'outillage, le

¹⁴² Gates, D. (2007, 25 octobre). 787 delay could wind up costing Boeing \$1 billion. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/787-delay-could-wind-up-costing-boeing-1-billion/>

¹⁴³ Bailey, J. (2008, 16 janvier). More Delays Expected for Boeing's Dreamliner. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2008/01/16/business/16boeing.html>

manque d'expérience, d'expertise ou de savoir-faire, car même avec une vaste expérience dans les projets aéronautiques, le 787 présente certains défis technologiques qui nécessitaient des compétences que même Boeing lui-même ne possédait pas et il a fallu les développer.

3.3.4 Quatrième retard

En 4 septembre 2008 a été signalé le quatrième retard du 787, dans le nouveau calendrier le premier vol d'essai a été déplacé au quatrième trimestre de 2008 et la livraison du premier avion au troisième trimestre de 2009, ce qui rend un retard de 9 mois. Cette fois-ci, le problème est un défaut de conception du boîtier de l'aile centrale de l'avion, où ses ailes rejoignent le fuselage.

Selon *Flightblogger*, la faille est le résultat des efforts de Boeing pour réduire le poids du 787 :

Au cours de la phase initiale de développement du caisson de l'aile centrale, les longerons structuraux ont été conçus de façon à pouvoir supporter les charges structurales requises. Le design original du boîtier de l'aile centrale a été modifié lorsque le poids du Dreamliner a commencé à augmenter. Les longerons de structure, qui sont faits de composite, ont été réduits en largeur comme une mesure d'économie de poids. Boeing et Fuji Heavy Industries ont fabriqué des pièces d'essai composites pour démontrer les capacités structurelles des pièces de rechange. Les résultats ont indiqué que les longerons composites se flambaient prématurément par rapport aux longerons métalliques de même largeur.¹⁴⁴

¹⁴⁴ Demerjian, D. (2008, 20 mars). Another Delay for Boeing's 787 Dreamliner. *Wired*. <https://www.wired.com/2008/03/boeing-announce/>

En plus du problème de la jonction des ailes avec le fuselage du 787, Boeing a fait face à de graves problèmes avec des retards constants et le manque de qualité du fuselage arrière que le fournisseur Vought Aircraft Industries produit. Même avec le soutien que Boeing a fourni à ce fournisseur, on est arrivé à une situation où la seule solution pour résoudre le problème du temps et de la qualité était l'acquisition de ce fournisseur par Boeing. L'achat de ce fournisseur a coûté US\$ 1,002 milliard, dont US\$ 580 millions payés en espèces et la remise d'avance d'US\$ 422 millions.¹⁴⁵

Avec l'annonce du quatrième retard, plusieurs compagnies aériennes ont indiqué qu'elles demanderaient une compensation financière en raison du retard. Selon Campbell, de Lehman Brothers, dans une note analytique publiée la semaine avant l'annonce, a estimé qu'un délai de 14 à 16 mois ajouterait entre US\$ 3 et 5 milliards en coûts de fabrication supplémentaires et en pénalités pour les contrats avec les clients.¹⁴⁶

Mais même si sa réputation et sa crédibilité sont égratignées par ce nouveau retard, les analystes de Wall Street ont déclaré que pour la première fois Boeing était réaliste et a produit un calendrier qui dépeint la réalité du projet, tout en soulignant que la mise en œuvre du nouveau calendrier est fondamentale et qu'un nouveau dérapage sera perçu négativement par les investisseurs.¹⁴⁷

3.3.5 Cinquième retard

Le 4 novembre 2008, Boeing a indiqué que le premier vol avait été transféré au second semestre 2009 et que la livraison du premier appareil subirait un nouveau retard

¹⁴⁵ Sanders, P. (2009, 8 juillet). Boeing Sets Deal to Buy a Dreamliner Plant. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/SB124696971307105465>

¹⁴⁶ Gates, D. (2008a, 10 avril). Latest delay of Boeing 787 pushes back first delivery to third quarter of 2009. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/latest-delay-of-boeing-787-pushes-back-first-delivery-to-third-quarter-of-2009/>

¹⁴⁷ Wayne, L. (2008, 9 avril). Latest Delay Puts Boeing's Dreamliner a Year Behind. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2008/04/09/business/09cnd-boeing.html>

de 6 mois (premier trimestre 2010) résultant de l'assemblage incorrect des attaches (écrous et boulons exclusifs au 787) qui nécessitaient le remplacement de ces attaches et d'une grève des employés opérationnels qui ont frappé les usines de Boeing dans l'État de Washington. La grève a duré 57 jours et a interrompu toute la chaîne d'assemblage de l'entreprise, affectant sévèrement le déjà méga en retard calendrier du 787.

Le 15 juin 2009 pendant le Paris Air Show, Boeing a fait une gaffe majeure en déclarant que le premier essai en vol serait prévu et effectué dans 2 semaines, mais 8 jours plus tard, la compagnie rapportée que le vol inaugural était toujours prévu pour décembre 2009 et que l'annonce qui a eu lieu lors le Paris Air Show avait été une erreur.

Mais la principale raison du cinquième retard était selon The Times, qui a parlé avec des ingénieurs de Boeing qui n'ont pas pu être identifiés, le problème est plus complexe que prévu et nécessitera « une refonte complète de la jonction aile-corps de l'avion ». Une fois que Boeing aura trouvé une solution, il devra l'essayer sur un avion d'essai non couché, puis installer sur l'avion prévu pour le vol d'essai.¹⁴⁸

3.3.6 Sixième retard

Le 14 août 2009 Boeing dit avoir découvert des rides microscopiques dans la peau du fuselage du 787 et pour corriger cette faille, il fallait installer une pièce composée de couches supplémentaires de matériau composite de carbone. Ce dernier retard a directement atteint la haute direction de Boeing. Le 31 août 2009 Boeing a annoncé le départ de son PDG Scott E. Carson, il a été remplacé par James (Jim) F. Albaugh, chef des opérations militaires et spatiales de la société.¹⁴⁹

¹⁴⁸ Paur, J. (2009, 22 juillet). A Nightmare Delay for the Boeing 787 Dreamliner. *Wired*. <https://www.wired.com/2009/07/787-dreamliner-delay/>

¹⁴⁹ Staff Manufacturing.Net (2009, 1 septembre). A Look at The History of The Troubled Boeing 787. *Manufacturing.Net*. <https://www.manufacturing.net/home/article/13055749/a-look-at-the-history-of-the-troubled-boeing-787>

Le 27 août 2009, Boeing annonce que le programme 787 a accumulé une imputation d'US\$ 2,5 milliards sur les bénéfices du troisième trimestre. Il a également été annoncé que le premier vol d'essai était maintenu pour avoir lieu en décembre 2009 et que le premier avion serait livré au quatrième trimestre de 2010. « Ce nouveau calendrier nous donne le temps nécessaire pour terminer le travail restant nécessaire pour mettre la capacité révolutionnaire du 787 entre les mains de nos clients », a déclaré Jim McNerney, président et chef de la direction de Boeing. « Les détails de conception et le plan de mise en œuvre sont presque terminés, et l'équipe prépare les avions pour la modification et les tests ». ¹⁵⁰

Enfin le 15 décembre 2009, le Boeing 787 effectue son premier vol, avec un retard de 26 mois par suite de calendrier initial. Pour accélérer le programme d'essai au sol et de vol pour la certification de l'avion, Boeing a prévu 6 800 heures en utilisant 6 avions pendant huit mois et demi, en effectuant les essais sur un système de 24 heures pendant 7 jours dans la semaine. Ce calendrier ambitieux est basé sur une nouvelle méthodologie d'essai en vol qui exploite les heures de repos pendant que l'avion est au sol.

Les essais au sol et en vol se déroulaient comme prévu jusqu'au 25 juin 2010, date à laquelle Boeing a imposé à ses 5 avions d'essai une limitation opérationnelle temporaire (TOL – Temporary Operation Limitation) en raison de la découverte de lacunes structurelles dans le stabilisateur horizontal, ce problème a été causé par le couple excessif des cales qui sont utilisées pour combler les lacunes. ¹⁵¹

Le 2 août 2010, un moteur Trent 1000 a explosé pendant des essais au sol lors de l'installation de la Rolls-Royce dans la ville de Deby, Royaume-Uni, qui a forcé la

¹⁵⁰ Leach, Y. (2009, 27 août). Boeing Announces New 787 Schedule and Third-Quarter Charge. *Boeing Media Room*. <https://boeing.mediaroom.com/2009-08-27-Boeing-Announces-New-787-Schedule-and-Third-Quarter-Charge>

¹⁵¹ Ostrower, J. (2010a, 25 juin). Horizontal stabiliser gaps force 787 inspections and reduced flight envelope. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/horizontal-stabiliser-gaps-force-787-inspections-and-reduced-flight-envelope/94234.article>

fermeture temporaire de l'installation et retardé l'achèvement des essais jusqu'à ce que la cause de l'explosion ait été découverte.¹⁵²

3.3.7 Septième retard

Le 27 août 2010, Boeing a annoncé qu'en raison du manque de moteurs Trent 1000 pour l'achèvement des tests en vol, il réajustait le calendrier de livraison du premier avion qui serait modifié du quatrième trimestre 2010 au premier trimestre de 2011.¹⁵³

Le 9 novembre 2010 lors d'un essai en vol, un incendie s'est déclaré dans le compartiment de l'équipement électrique qui a forcé l'avion à effectuer un atterrissage d'urgence à Laredo, au Texas.¹⁵⁴ La cause de cet incendie était un court-circuit dans un panneau d'énergie provoqué par un rasage de métal errant.¹⁵⁵ Cet incident a provoqué la mise à la terre des avions d'essai et a obligé le fournisseur du système électrique à effectuer une mise à jour provisoire du logiciel de contrôle électrique de l'avion. Au cours de cette période, seuls les essais de sol ont continué d'être effectués.

3.3.8 Huitième retard

Le 18 janvier 2011, Boeing a annoncé le huitième retard du 787. La nouvelle date de livraison du premier appareil était prévu pour le troisième trimestre de 2011. Le

¹⁵² Staff BBC (2010, 27 août). Boeing delays delivery of 787 aircraft until next year. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/business-11106378>

¹⁵³ Ostrower, J. (2010b, 27 août). Lack of production engine for Airplane Nine drives 787 delay. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/lack-of-production-engine-for-airplane-nine-drives-787-delay/95579.article>

¹⁵⁴ Gates, D. (2010, 09 novembre). Electrical fire forces emergency landing of 787 test plane. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/electrical-fire-forces-emergency-landing-of-787-test-plane/>

¹⁵⁵ Clark, P. (2010, 09 décembre). Long wait for Dreamliner's arrival. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/1af9af16-03c8-11e0-8c3f-00144feabdc0>

changement reflète le temps nécessaire pour produire, installer et tester le logiciel et les panneaux de distribution électrique qui ont causé l'accident du 9 novembre 2010.¹⁵⁶

Mais même avant l'accident de novembre, dans un reportage de *FlightGlobal* du 5 novembre 2010, un nouveau retard du Dreamliner était déjà envisagé. Dans ce rapport, il a été signalé que l'avion avait de la condensation et des bruits dans la fenêtre du cockpit, les portes d'embarquement et de débarquement nécessitent des modifications, le stabilisateur horizontal a besoin de corrections en raison de la mauvaise qualité de fabrication et enfin les moteurs Trent 1000 qui seraient utilisés dans les premières livraisons de l'avion devaient incorporer des changements dans sa conception.¹⁵⁷

Tous ces retards du 787 se répercutent financièrement sur l'entreprise, Boeing, par la force contractuelle a dû compenser ses clients pour les retards. Rarement un retard d'un constructeur aéronautique implique le paiement en espèces. Les deux types de compensation sont l'octroi de rabais sur le carnet de commandes actuel ou futur ou dans la prestation de services d'entretien. Malgré cela, c'est un revenu que la compagnie n'aura pas, selon Sanders et Cameron (2011) a été estimée que Boeing a accordé des rabais d'US\$ 5 milliards aux compagnies aériennes en raison du retard 787.¹⁵⁸

En plus des retards initiaux avec certains de ses fournisseurs stratégiques qui ont ralenti la construction de l'avion et ont été responsables des cinq premiers retards, il s'avère que les trois derniers retards sont liés à des échecs de conception du projet, qui est coutumier dans des projets complexes. Nous avons également constaté que Boeing lui-même, malgré sa vaste expérience avait des difficultés à surmonter les différents

¹⁵⁶ Gunter, L. (2011, 11 janvier). Boeing Sets 787 First Delivery for Third Quarter. *Boeing Media Room*. <https://boeing.mediaroom.com/2011-01-18-Boeing-Sets-787-First-Delivery-for-Third-Quarter>

¹⁵⁷ Ostrower, J. (2010c, 5 novembre). Boeing faces prospect of further 787 delay. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/boeing-faces-prospect-of-further-787-delay/96699.article>

¹⁵⁸ Sanders, P. et Cameron, D. (2011, 19 janvier). Boeing Sees Long-Delayed 787 Deliveries Starting in Third Quarter. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/SB10001424052748703954004576089703794210100>

problèmes du projet. Tellement que dans un rapport dans le New York Times, il a été signalé que :

Les dirigeants de Boeing ont reconnu avoir externalisé trop de travaux de conception et de production. Boeing a dû retravailler de nombreuses pièces qui étaient mal faites, et les dirigeants ont dit que l'entreprise pourrait devoir construire de 40 à 50 des avions avant de surmonter tous les problèmes. L'entreprise a également dû interrompre ses livraisons de pièces et ralentir sa chaîne de production plusieurs fois au cours des derniers mois pour tenter de reprendre le contrôle.¹⁵⁹

Le 26 août 2011, la variante du 787 propulsé par des moteurs Trent 1000 a été certifiée par la FAA et l'AESA. Le 25 septembre 2011, à son siège social à Everett, Boeing livre son premier 787 à ANA, faisant un retard de 3 ans et 6 mois et le 26 octobre 2011 sur la route Tokyo/Hong Kong a été fait le premier vol commercial de l'avion.

En 2012, les deux premières compagnies aériennes japonaises ANA (Trent 1000) et Japan Airlines (JAL) qui utilise le moteur GE ont indiqué que la consommation de carburant se situe dans les 20 % attendus par rapport au modèle 767.¹⁶⁰

3.3.9 Problèmes postérieurs à la livraison et à la mise à la terre de la flotte

Lorsque Boeing a finalement imaginé que les problèmes techniques du 787 étaient résolus et qu'elle pourrait se concentrer sur l'augmentation de la production, voici qu'entre septembre 2012 à janvier 2013, il y a eu plusieurs incidents avec le 787, comme décrit ci-dessous :

¹⁵⁹ Drew, C. (2011, 18 janvier). Boeing Again Delays Delivery of Dreamliner. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2011/01/19/business/19boeing.html>

¹⁶⁰ Norris, G. (2012, 26 juin). Operators Reporting Positive 787 Fuel-Burn Results. *Aviation Week*. <https://aviationweek.com/air-transport/operators-reporting-positive-787-fuel-burn-results>

- 5 septembre 2012 – La compagnie ANA interrompt le décollage d'un Dreamliner en raison de l'existence de fumée blanche dans le moteur gauche de l'avion, détectée comme une défaillance du système hydraulique.
- 5 décembre 2012 – La FAA ordonne des inspections de tous les Dreamliners en service à la suite de rapports de fuites de carburant.
- 7 janvier 2013 - Un incendie se produit dans un 787 vide JAL à Boston.
- 8 janvier 2013 - Un 787 de JAL subit une fuite de carburant, forçant un vol de Boston à être annulé. À la même date, un autre 787 de l'ANA a été forcé d'effectuer un atterrissage d'urgence après l'apparition d'une fissure dans le pare-brise du poste de pilotage, ce qui a obligé l'aéronef à atterrir.
- 9 janvier 2013 – United Airlines signale des problèmes de câblage près des batteries lithium ion dans un de ses six 787. NTSB lance une campagne d'enquête.
- 11 janvier 2013 - Un deuxième avion JAL a une fuite de carburant. La FAA ordonne un examen complet des systèmes critiques du 787.
- 13 janvier 2013 - JAL signale une fuite de carburant constatée lors d'une inspection de sa flotte de 787. Le ministère japonais des transports lance sa propre enquête.
- 16 janvier 2013 – Un vol ANA de l'aéroport de Ube (Yamagushi) à Haneda (Tokyo) effectue un atterrissage d'urgence après avoir détecté une odeur de brûlé. L'inspection a révélé un incendie de batterie.

L'accident du 16 janvier était similaire à l'événement du 7 janvier avec un autre 787 de JAL à Boston. Ce dernier accident a forcé la FAA à émettre un ordre d'atterrissage mondial des 50 Dreamliners en service et à suspendre de nouveaux avions jusqu'à ce que les problèmes de batterie soient résolus. L'échouement obligatoire d'un aéronef n'est pas un événement courant, le 787 étant le premier avion à être cloué au sol depuis 1979.

Avec l'échouement du 787, Boeing a entrepris une étude approfondie pour vérifier la source des problèmes de batterie et a constaté qu'ils devaient être remplacés. Le 5 avril 2013, Boeing finalise les essais avec les nouvelles batteries et le 26 avril 2013, la FAA

accepte les changements de batterie et autorise le plan de réparation pour que le 787 retourne voler.

En 3 juin 2013, lors d'une inspection, JAL a découvert qu'un capteur de détection de surchauffe des batteries au lithium était recouvert d'un ruban isolant qui empêchait la bonne mesure du niveau de pression.¹⁶¹ Ce capteur est une partie importante pour la sécurité de l'avion, parce que la réparation effectuée par Boeing pour corriger les problèmes d'incendie qui ont affecté les batteries consistait à allouer les batteries à une boîte en acier inoxydable et ce capteur réalise la lecture de la pression à l'intérieur de la boîte en acier avec la pression externe. S'il y a des signes de surchauffe le capteur déclenche un dispositif d'évacuation des gaz électrolytiques des cellules de la batterie, évitant ainsi sa surchauffe.¹⁶²

Le 12 juillet 2013, un 787 de Ethiopian Airlines stationné à l'aéroport de Heathrow à Londres a été frappé par un incendie provenant de l'émetteur de localisation d'urgence, ce composant est fabriqué par Honeywell et est alimenté par une batterie de dioxyde de lithium manganèse. Britain's Air Accident Investigation (AAIB) a émis une recommandation à l'intention des organismes de réglementation de l'aviation d'inspecter ou de retirer le composant.¹⁶³ Le 26 juillet 2013 ANA rencontre le problème sur 3 de ses jets, et le 27 juillet 2013 United Airlines a trouvé aussi le problème sur l'un de ses jets.¹⁶⁴ En 2015, l'enquête sur l'accident de Ethiopian Airlines a été finalisée et il a été constaté que les fils croisés et piégés sous le compartiment de la batterie ont causé un court-circuit.

¹⁶¹ Mutzabaugh, B. (2013, 03 juin). Report: Forgotten tape blamed for Japan Air 'problem'. *USA Today*. <https://www.usatoday.com/story/todayinthesky/2013/06/03/report-japan-air-787-problem-caused-by-forgotten-tape/2384107/>

¹⁶² Laing, J. R. (2013, 27 avril). Will Boeing's Battery Fix Fly? *Barrons's*. <https://www.barrons.com/articles/SB50001424052748703889404578439060025345082>

¹⁶³ Topham, G. (2013, 18 juillet). Heathrow fire on Boeing Dreamliner 'started in battery component'. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/world/2013/jul/18/heathrow-fire-boeing-dreamliner-battery>

¹⁶⁴ Ostrower, J. (2013, 26 juillet). Les inspections des radio-émetteurs d'urgence Boeing 787 montrent des problèmes. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/SB10001424127887324564704578630140997356924>

Le 18 juillet 2013, un 787 de la JAL qui a décollé de Boston est retourné à l'aéroport après l'affichage d'un message d'entretien à la pompe à carburant.¹⁶⁵ Le 14 août 2013, l'ANA a trouvé un problème de câblage électrique dans les extincteurs d'incendie de moteur dans 3 Dreamliners de sa flotte. JAL a effectué une inspection de ses 10 avions et n'a pas trouvé la faille. United Airlines a découvert le problème dans un jet de sa flotte. Par la suite, il a été constaté qu'il y avait eu un mauvais assemblage du dispositif de contrôle des extincteurs.¹⁶⁶

Le 22 juillet 2013 Qatar Airways atterrir un de ses 787 en raison de problèmes avec un panneau électrique. Le 24 juillet 2013, un four a surchauffé et causé de la fumée sur un Dreamliner d'Air India.¹⁶⁷

Le 28 septembre 2013, Norwegian Airlines a retiré l'un de ses 787 de la circulation jusqu'à ce que Boeing règle les divers problèmes que l'avion présentait. Lasse Sandaker-Nielsen porte-parole de la compagnie aérienne a déclaré : « La fiabilité de l'avion n'est tout simplement pas acceptable, nos passagers ne peuvent pas vivre avec ce genre de performance ». ¹⁶⁸

Le 23 novembre 2013, Boeing a averti les compagnies aériennes qu'il fallait éviter les vols à proximité des tempêtes pouvant contenir des cristaux de glace, car il existe un

¹⁶⁵ Smith, O. (2013, 19 juillet). Dreamliner flight to Tokyo aborted. *The Telegraph*. <https://www.telegraph.co.uk/travel/news/Dreamliner-flight-to-Tokyo-aborted/>

¹⁶⁶ Staff Saint Louis Business Journal (2013, 16 août). Boeing traces faulty fire extinguishers to supplier. *Saint Louis Business Journal*. https://www.bizjournals.com/stlouis/morning_call/2013/08/boeing-traces-faulty-fire.html

¹⁶⁷ Lawson, H. (2013, 26 juillet). Dreamliner nightmare continues for Boeing as Qatar Airways pulls plane out of service 'after smoke reported near electrical compartment'. *Daily Mail.com*. <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2379183/Dreamliner-nightmare-continues-Boeing-Qatar-Airways-pulls-plane-service-smoke-reported-near-electrical-compartment.html>

¹⁶⁸ Koranyi, B. et Lawson, H. (2013, 28 septembre). Norwegian Air takes Dreamliner out of service after breakdowns. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-boeing-norwegian-dreamliner/norwegian-air-takes-dreamliner-out-of-service-after-breakdowns-idUSBRE98R06E20130928>

risque de gel des moteurs GEnx (747-8 et 787).¹⁶⁹ En avril 2016, la FAA a ordonné des modifications aux moteurs GEnx, décrits comme un problème de sécurité urgent, en janvier 2006, un 787 a subi une panne dans un moteur forçant un atterrissage d'urgence.¹⁷⁰

En 21 janvier 2014, un 787 de Norwegian Airlines interrompt son décollage à l'aéroport de Bangkok, en Thaïlande, après que des passagers aient alerté l'équipage qu'une fuite de carburant se produisait dans une vanne sur l'aile de l'avion.¹⁷¹

Sur le 787, Boeing a établi un partenariat avec d'importants fournisseurs en Italie, au Japon et aux États-Unis, leur remettant des travaux d'ingénierie et leur permettant à la fois de livrer leurs pièces et, avec le temps, de réduire le coût de ces pièces. Mais ces partenaires n'étaient pas à la hauteur de la tâche de production, ce qui a entraîné des retards sans précédent et des dépassements de coûts de plusieurs milliards de dollars. Et ils ont préféré récolter les bénéfices de toute économie graduelle eux-mêmes, plutôt que de les transmettre à Boeing. Le résultat a été un cauchemar financier. Boeing a été forcé de racheter les usines partenaires en Caroline du Sud. Il ne récupérera probablement jamais tous ses investissements engendrés par le 787.¹⁷²

3.3.10 Analyse des retards du Boeing 787 Dreamliner

Il semble une situation surréaliste, mais les retards et les problèmes post-lancement du 787 auraient pu être évités ou atténués si Boeing avait appliqué dans la planification et

¹⁶⁹ Staff Seattle Times (2013, 23 novembre). Boeing warns of engine-icing problems on 747-8, 787. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-warns-of-engine-icing-problems-on-747-8-787/>

¹⁷⁰ Patterson, T. (2013., 23 avril). FAA orders 'urgent' engine fixes for Boeing 787 Dreamliners. *CNN*. <https://www.cnn.com/2016/04/23/us/boeing-dreamliner-engine-fix/>

¹⁷¹ Staff UPI (2014, 21 janvier). Passengers alert plane's cabin crew to fuel leaking from wing. *United Press International*. https://www.upi.com/Top_News/World-News/2014/01/21/Passengers-alert-planes-cabin-crew-to-fuel-leaking-from-wing/43731390321026/?spt=rln&or=1&ur3=1

¹⁷² Gates, D. (2018, 11 janvier). Boeing's bid to buy Embraer could see Brazilian engineers work on the 797. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/boeings-bid-to-buy-embraer-could-see-brazilian-engineers-work-on-the-797/>

la conception quelques recommandations d'un article produit par l'un de ses employés en 2001, dans lequel un éminent ingénieur a averti la société sur les dangers de l'externalisation excessive et quels facteurs clés devraient être pris en considération dans la pratique commerciale de Boeing visant une externalisation ou sous-traitance réussie. L'auteur de cet article est John Hart-Smith, un technicien senior ingénieur au Boeing Phantom Works.

Dans son étude, Hart-Smith (2001) indique que l'impartition est généralement considérée par la direction comme un outil de réduction des coûts. Mais il s'interroge sur le fait qu'il y a deux questions généralement non résolues dans le processus d'impartition – Quels sont les coûts ? ; et – Quels sont les effets de l'externalisation sur les coûts globaux ?¹⁷³ Pour résoudre ces questions, il propose que l'entreprise, avant d'opter pour l'externalisation, soit en mesure de répondre la question la plus importante de toutes soit de savoir si une entreprise peut ou non continuer à fonctionner s'il repose principalement sur l'externalisation de la majorité du travail qu'il effectuait autrefois en interne. Lorsque l'externalisation représente la meilleure option pour Boeing, il prévient que pour réduire au minimum les problèmes potentiels possibles liés à la production de composants (qualité, délais, normes techniques, etc.). Selon Denning (2013b) :

Il est nécessaire que le contractant principal (Boeing) fournisse un soutien sur place en matière de qualité, de gestion des fournisseurs et parfois de soutien technique. Si cela n'est pas fait, le rendement du fabricant principal ne peut jamais dépasser les capacités du fournisseur le moins compétent.

¹⁷⁴

Dans une critique de la haute direction de Boeing Hart-Smith a déclaré :

¹⁷³ Hart-Smith, L. J. (2001). Out-sourced Profits – The Cornerstone of Successful Subcontracting. *Boeing Phantom Works*. <https://pdfs.semanticscholar.org/e9da/f5cc1c94c6e34e29095ca168e8fa2d750df9.pdf>

¹⁷⁴ Denning, S. (2013b, 21 janvier). What Went Wrong at Boeing? *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/stevedenning/2013/01/21/what-went-wrong-at-boeing/#3ded253e7b1b>

Sur le 787, la direction de Boeing pensait qu'elle pourrait externaliser le risque et la responsabilité avec la plupart des travaux. Ce n'est pas possible, parce que lorsque quelque chose tourne mal avec un composant critique d'un fournisseur, c'est Boeing que la FAA tient responsable pour résoudre le problème, et c'est Boeing qui paie la plupart des coûts associés.¹⁷⁵

Jusqu'à la conception du 787, le processus d'affaires d'un nouveau modèle de Boeing a commencé par une équipe de 100 à 200 employés qui ont élaboré le projet conceptuel. Cette équipe convoquerait les fournisseurs pour examiner la conception du projet. Une fois la conception conceptuelle révisée, le groupe initial serait étendu à des milliers de collaborateurs de conception et d'ingénierie qui feraient les dessins, les normes techniques et les spécifications du nouveau projet et seraient plus tard distribués entre les installations de Boeing et ou les fournisseurs sélectionnés. Ce projet était connu sous le nom de « build to print – construire pour imprimer ». Si un fournisseur avait des problèmes, Boeing enverrait des équipes pour aider le fournisseur à se remettre sur les rails, en travaillant à partir de dessins techniques détaillés. Dans le cas de Dreamliner, le projet a détourné le processus tribal de Boeing. Au lieu de « construire pour imprimer », les fournisseurs sélectionnés de rang 1 feraient « build to performance – construire à la performance », c'est-à-dire que les spécifications de performance seraient fournies par Boeing et qu'ils développeraient les dessins détaillés pour construire l'avion (Nolan, 2012).

La question de l'externalisation est complexe dans le segment aéronautique, Boeing ainsi que d'autres constructeurs aéronautiques vendent la plupart de leurs avions à l'étranger. Et cette particularité oblige tous les constructeurs aéronautiques à externaliser vers des pays où leurs produits sont vendus et qui ont une chaîne d'approvisionnement

¹⁷⁵ Gates, D. (2015, 1 mai). Boeing 787's problems blamed on outsourcing, lack of oversight. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-787s-problems-blamed-on-outsourcing-lack-of-oversight/>

aéronautique une participation dans la conception et la fabrication de composants d'aéronefs qui est généralement imposée comme condition de vente.¹⁷⁶

Ce qui s'est passé dans le processus d'externalisation du 787 a dépassé le bon sens et, n'a pas été pris en compte les règles et les expériences culturelles de Boeing lui-même et, sur la base de l'expérience réussie des constructeurs automobiles qui ont opté pour l'externalisation. Boeing n'a pas tenu compte des règles de base de ce processus qui implique total coopération et formation des partenaires (fournisseurs) afin qu'ils recueillent les connaissances et la capacité d'effectuer leurs tâches. Toyota n'externalise pas à ses partenaires des technologies ou des étapes de production non existantes et maintient le conseil et le contrôle de ses partenaires en envoyant des ingénieurs. Dans le cas de Volkswagen qui a adopté le consortium modulaire pour commencer à fabriquer ses camions au Brésil, la société a externalisé une grande partie du projet, mais a réuni dans un seul endroit (usine Resende) ces fournisseurs et a accompagné tous les processus de fabrication et administratifs, tels que les achats de fournitures. Chaque fournisseur faisait une commande qui était centralisée par Volkswagen, qui a permis une meilleure négociation de la valeur d'achat, contrôle de la qualité et l'identification de la rupture des stocks, de cette façon Volkswagen avait le contrôle de la SC de son produit. Boeing n'a commencé à conseiller ses principaux fournisseurs qu'à partir du moment où il a été constaté qu'il y avait un manque de compréhension des responsabilités assumées et de la maturité dans la gestion du projet.

L'omission initiale de Boeing dans le support à ses fournisseurs est l'un des piliers des problèmes auxquels le projet 787 a été confronté, au point qu'en janvier 2011 Jim Albaugh, chef des avions commerciaux chez Boeing a déclaré : « Nous avons dépensé beaucoup plus d'argent », a-t-il expliqué. « En essayant de récupérer que nous n'aurions

¹⁷⁶ Gates, D. (2003, 9 mars). Boeing buzzes about 'source' of work. *The Seattle Times*. <https://archive.seattletimes.com/archive/?date=20030309&slug=boeingcritique09>

jamais dépensé si nous avons essayé de garder les technologies clés plus près de chez nous. »¹⁷⁷

Cet échec a forcé Boeing à devoir envoyer des centaines d'ingénieurs aux différents fournisseurs des rangs 1, 2 et 3 qui étaient impliqués dans la conception de l'avion, pour analyser et résoudre les multiples problèmes techniques et opérationnels qui affectaient le développement du projet. Dans certains cas, la société a dû repenser l'ensemble du processus de sous-assemblage de l'avion. Le résultat était que l'entreprise a subi d'énormes dépenses supplémentaires qui n'avaient pas été prévues et incluses dans le coût du projet.

Enfin, la question du paiement tardif qui a été fixé contractuellement par Boeing pour les fournisseurs stratégiques, a également contribué au retard du 787. L'étude de Kwon *et al.*, (2010) qui a étudié l'influence des contrats avec retard de paiement sur la gestion de projet. Dans cette étude, plusieurs fournisseurs et prestataires de services ont été contactés et, parmi eux, il y avait deux des principaux fournisseurs de Boeing sous condition d'anonymat, le but de l'étude était de vérifier avec les fournisseurs quel serait le meilleur mode de paiement (sans retard ou en retard). Tous les fournisseurs ont indiqué que le mode sans délai est le plus équitable, puisque chaque fournisseur dépend uniquement de ses propres performances (temps d'achèvement). Selon eux, le système de paiement en retard peut inciter certains fournisseurs à travailler plus lentement s'ils perçoivent un retard dans le projet, dans le programme 787, les fournisseurs stratégiques avaient connaissance de l'évolution de chaque fournisseur (Nolan et Kotha, 2005, cité dans Nolan, 2012). Par conséquent, dans la perception des fournisseurs, le retard de paiement pénalise ceux qui terminent leurs tâches à temps.

¹⁷⁷ Denning, S. (2013b, 21 janvier). What Went Wrong at Boeing? *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/stevedenning/2013/01/21/what-went-wrong-at-boeing/#3ded253e7b1b>

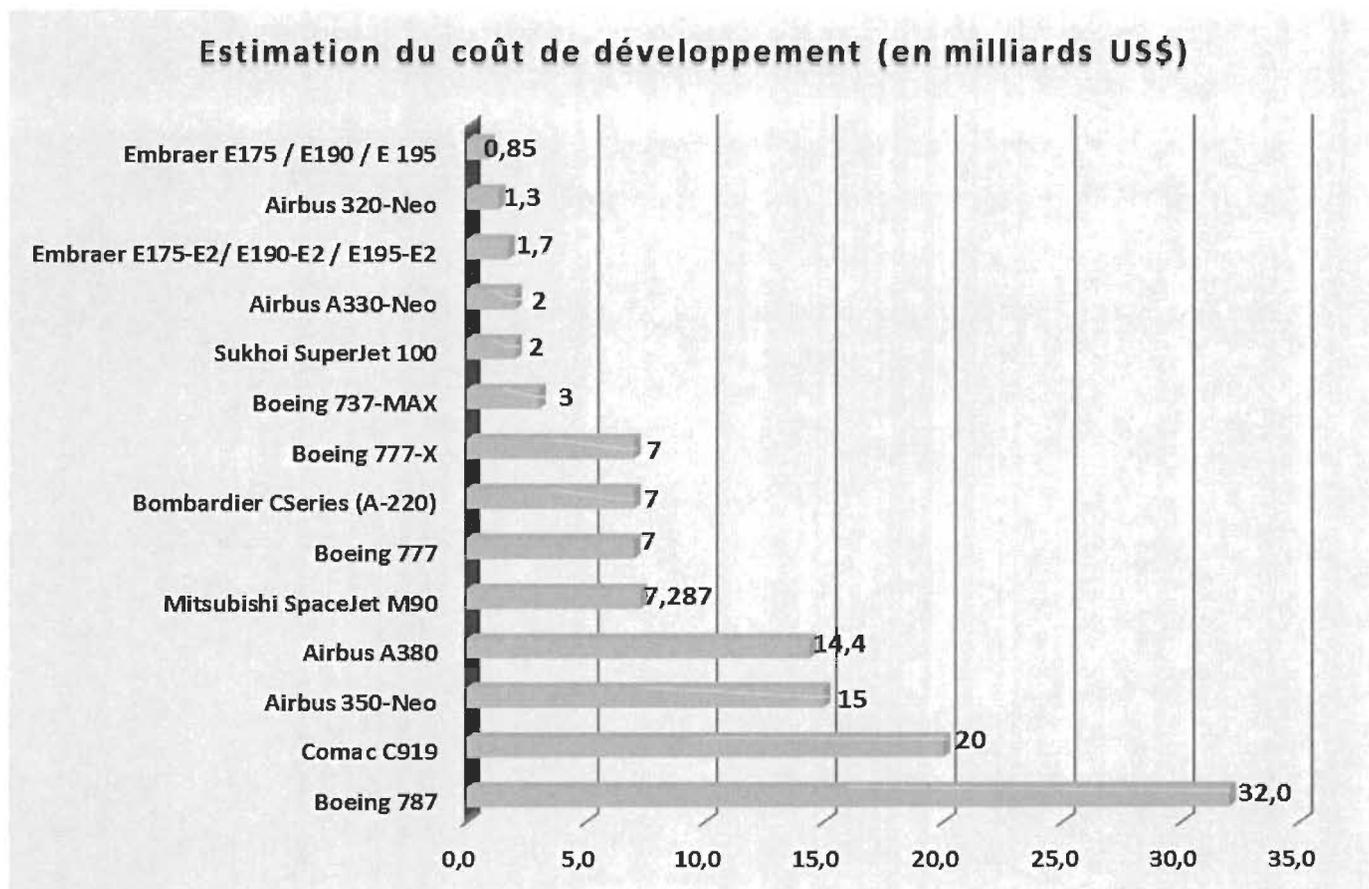
Afin d'avoir une vision globale de la situation de la SC du 787, a été créé en décembre 2008 le Production Integration Center (PIC – Centre d'intégration de la production). L'objectif du centre était « de fournir une connaissance de la situation, une détection précoce des problèmes et une résolution des problèmes en temps réel pour le système de production du Dreamliner » (Ostrower, 2009, cité dans Kotha et Srikanth, 2013). Le PIC était composé d'une équipe multifonctionnelle qui travaillaient pour soutenir les problèmes auxquels les fournisseurs étaient confrontés dans le projet, en plus du soutien de la partie technique et mécanique le centre coordonnait la logistique des matières premières et des produits finis (sections structurelles), enfin, le PIC a servi de contrôle de mission pour la chaîne d'approvisionnement du 787.

3.3.11 Implications du retard de Boeing 787 Dreamliner

Boeing rapporte officiellement que le développement du 787 a coûté US\$ 14,4 milliards, mais The Seattle Times estime le coût de développement de l'avion à US\$ 32 milliards,¹⁷⁸ ce qui en ferait l'avion le plus cher de l'histoire. La valeur d'US\$ 32 milliards est probablement le montant dépensé pour le développement du modèle, sans compter la valeur que les partenaires stratégiques ont investie, donc probablement le 787 se vante le coût le plus élevé de développement d'un avion.

¹⁷⁸ Rushe, D. (2013, 18 janvier). Why Boeing's 787 Dreamliner was a nightmare waiting to happen. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/business/2013/jan/18/boeing-787-dreamliner-grounded>

Figure 23 - Estimation du coût du développement des avions (considérant le coût réel du 787)



Avec un coût de développement d'US\$ 32 milliards, le 787 est hissé au deuxième rang des coûts les plus élevés par PAX dans l'industrie aéronautique, avec une valeur d'US\$ 111,498 millions pour chaque siège disponible sur l'avion, comme le montre la figure 24.

Figure 24 - Estimation du coût de développement par PAX (considérant le coût réel du 787)



Techniquement, Boeing a acheté McDonnell Douglas. Mais, comme me l'a dit Richard Aboulafia, un éminent analyste de l'industrie du Teal Group, « MD a acquis Boeing avec l'argent de Boeing. » Les dirigeants de MD sont devenus des acteurs clés de la nouvelle entreprise, et la culture de l'entreprise, opposée au risque et obsédée par la réduction des coûts, a affaibli l'engagement historique de Boeing à investir massivement dans de nouveaux produits. Après la fusion, il y a eu une véritable bataille sur l'avenir de l'entreprise, entre les ingénieurs et les responsables des finances et des ventes. D'accord Surowiecki (2013) : « Les nerds dirigeaient peut-être le spectacle dans la Silicon Valley,

mais chez Boeing, ils étaient de plus en plus marginalisés par les bean counter¹⁷⁹ (compteurs de haricots). »¹⁸⁰ Ce mélange et ce conflit culturel ont été résumés par Jim Collins (2000) « Si en fait il y a une prise de contrôle inversée, avec la philosophie McDonnell imprégnant Boeing, alors Boeing est voué à la médiocrité ». Collins avait déjà averti en 2000, que Boeing changeait complètement son histoire de l'évolution en rapportant que :

Il y a une chose qui a rendu Boeing vraiment formidable tout du long. Ils ont toujours compris qu'il s'agissait d'une entreprise axée sur l'ingénierie et non sur les finances. S'ils n'honorent plus cette mission centrale, au fil du temps, ils deviendront simplement une autre entreprise.¹⁸¹

Un autre facteur contribuant indirectement aux retards du 787 est la question du mode de paiement auquel les fournisseurs stratégiques sont soumis par contrat (voir page 25). La modalité de retard de paiement que la société a appliquée aux intégrateurs, peut avoir contribué à des retards dans le projet. Toutefois, il n'y a aucune preuve de ce fait, la raison pour laquelle le contrat a influencé en partie les retards du 787 est fondée sur le fait que certaines entreprises peuvent avoir diminué la livraison de leurs sections parce qu'ils ne seraient pas rémunérés, ayant à absorber tous les investissements effectués. Cette modalité a pénalisé les intégrateurs qui ont respecté le délai avec Boeing.

L'équipe interne initiale de Boeing qui gérait le projet 787 ne disposait pas de personnes ayant une expérience avérée dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement et des projets complexes dans des postes clés, ce fait n'a été corrigé que par le remplacement de Mike Bair (ingénieur de formation qui a pris des postes de direction dans

¹⁷⁹ *Bean counter* (compteur de haricots) est habituellement un comptable ou quelqu'un qui se concentre sur les chiffres, les statistiques et les feuilles de calcul, plutôt que la vue d'ensemble. Est une expression généralement qui est utilisé de façon dérisoire pour signifier que la personne est obsédée par des détails triviaux.

¹⁸⁰ Surowiecki, J. (2013, 28 janvier). Requiem for a Dreamliner? *The New Yorker*. <https://www.newyorker.com/magazine/2013/02/04/requiem-for-a-dreamliner>

¹⁸¹ Useem, J. (2019, 20 novembre). The Long-Forgotten Flight That Sent Boeing Off Course. *The Atlantic*. <https://www.theatlantic.com/ideas/archive/2019/11/how-boeing-lost-its-bearings/602188/>

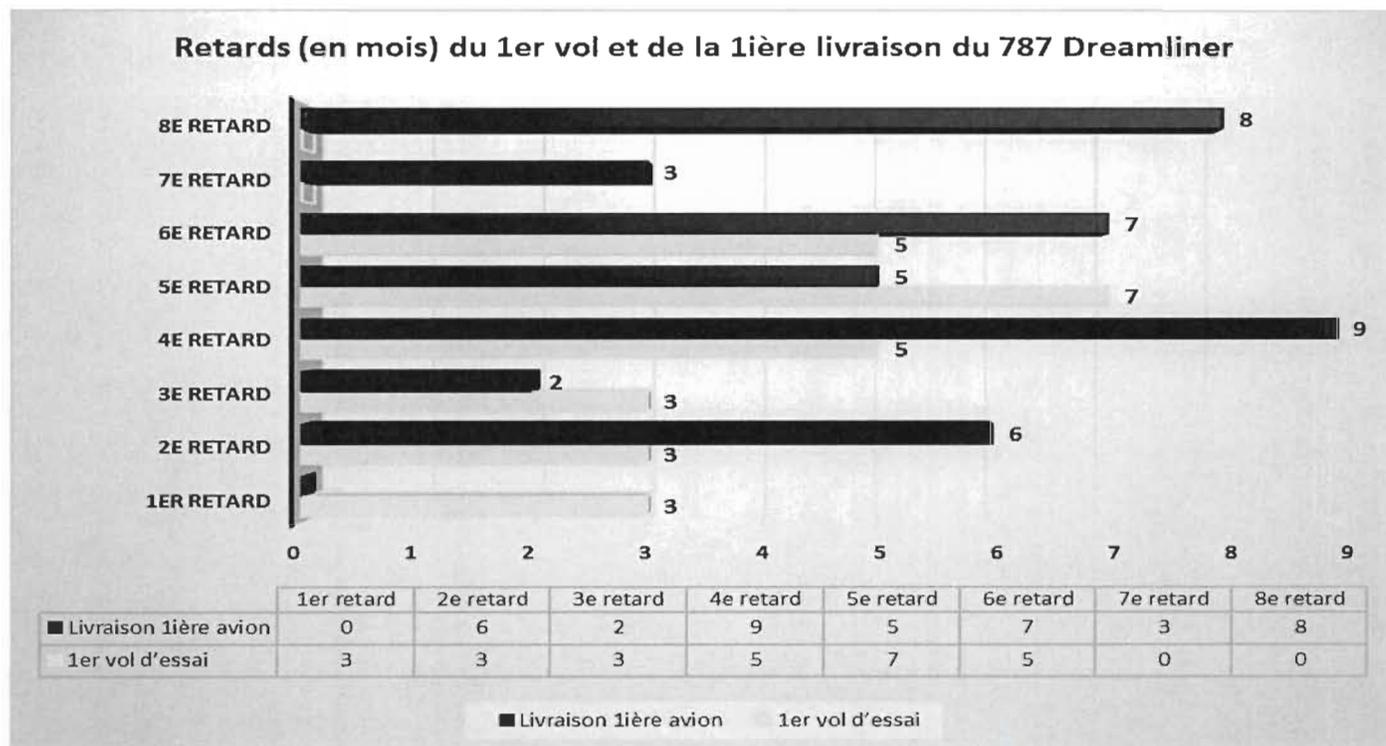
le domaine du marketing) par Pat Shanahan également ingénieur, mais avec une vaste expérience dans divers programmes d'avions civils et le département de la défense (missiles) de Boeing. Avec le départ de Shanahan a commencé un processus de reformulation des directeurs et de réorganisation des responsabilités exécutives du projet dans trois domaines : 1) Développement d'aéronefs, 2) Chaîne d'approvisionnement mondiale et 3) Zones d'assemblage final et livraison. Les nouveaux gestionnaires avaient de l'expérience dans des projets similaires. La capacité de Shanahan à résoudre les problèmes du Dreamliner lui donne le surnom de M. Fix-it (M. Répare tout).¹⁸²

Le 787 a eu 6 retards pour effectuer son premier vol d'essai, avec une différence de 26 mois (2,17 ans) entre la planification initiale et la réalisation du vol et, de 8 retards pour la livraison du premier avion, totalisant 40 mois (3,33 ans).

À travers de la figure 25, nous pouvons constater qu'en moyenne la programmation du premier vol a été retardée de 4 mois (sauf dans le cinquième retard à 7 mois), c'est une indication que Boeing n'avait pas de contrôle et connaissance du projet et au fur et à mesure qu'il progressait dans la conception de l'avion, il découvrait d'autres problèmes qui ralentissaient le projet. Analogiquement, la situation ressemblait aux poupées russes (matriochkas), c'est-à-dire, à chaque problème résolu était comme s'il y avait des autres problèmes (poupées) de tailles décroissantes placées les unes à l'intérieur des autres.

¹⁸² Davis, A. C. et Boburg, S. (2019, 18 juin). As Trump's defense pick withdraws, he addresses violent domestic incidents. *The Washington Post*. https://www.washingtonpost.com/investigations/trumps-defense-nominee-addresses-violent-incident-between-ex-wife-son-amid-fbi-vetting-process/2019/06/18/e46009de-190b-11e9-a804-c35766b9f234_story.html

Figure 25 - Retards du premier essai en vol et de la première livraison d'aéronefs du 787 Dreamliner



Toutefois, si l'on examine les retards du 787, on peut constater qu'il y avait une incongruité entre le premier vol d'essai et la livraison du premier avion. La moyenne historique de Boeing pour la certification d'un avion à feuilles propres (nouvelle conception) était de 14 mois (767 et 777). Même avec l'adoption de la nouvelle méthodologie d'essais en vol, les ingénieurs ont stipulé que la période la plus optimiste serait de 9 mois, mais l'idéal serait de 12 mois. Dans le tableau 12 on peut constater que dans 4 avis de retard (1er, 2e, 3e et 5e), le délai annoncé était inférieur aux 9 mois requis pour la certification et que dans seulement deux retards (4e et 6e) était dans le délai. Cependant, ils restent en-deçà de l'échéance historique récente de projets de même envergure. À la fin, le 787 a nécessité 20 mois pour être certifié et 21 mois pour la livraison du premier avion.

Tableau 12 - Délai entre la réalisation du premier vol et la livraison du premier 787

Retard	Date Annonce	Nouvelle prévision 1er vol	Nouvelle livraison 1er avion	Délai entre le 1er vol et la livraison
1er	Sep-2007	Jan-2008	Mai-2008	4 mois
2e	Oct-2007	Avr-2008	Nov-2008	7 mois
3e	Jan-2008	Jui-2008	Jan-2009	6 mois
4e	Sep-2008	Dec-2008	Oct-2009	10 mois
5e	Nov-2008	Jui-2009	Mar-2010	8 mois
6e	Aou-2009	Dec-2009	Oct-2010	10 mois
7e	Aou-2010	--	Jan-2010	13 mois
8e	Jan-2011	--	Sep-2011	21 mois

Selon Allworth (2013) : « Les problèmes auxquels le 787 a été confronté ont beaucoup plus à voir avec la décision de Boeing de traiter la conception et la production d'un aéronef aussi radicalement nouveau et différent comme un système modulaire si tôt dans son développement. »¹⁸³

Selon Rushe (2013) :

Les problèmes du Dreamliner ne concernent pas seulement Boeing. Ils sont une leçon sur les limites de l'externalisation et les relations trop étroites entre les fabricants et les régulateurs qui ont causé des problèmes dans d'industries automobiles, alimentaires et des services financiers au cours des dernières années.¹⁸⁴

Selon Amar Gupta (cité dans Rush, 2013), de l'Université Pace à New York, qui a étudié la construction du Dreamliner et n'est pas convaincu que l'externalisation soit le

¹⁸³ Allworth, J. (2013, 30 janvier). The 787's Problems Run Deeper Than Outsourcing. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/2013/01/the-787s-problems-run-deeper-t>

¹⁸⁴ Rushe, D. (2013, 18 janvier). Why Boeing's 787 Dreamliner was a nightmare waiting to happen. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/business/2013/jan/18/boeing-787-dreamliner-grounded>

problème. « Nous avons externalisé depuis la révolution industrielle », a-t-il déclaré. Le problème est celui des communications, affirme-t-il, et de la complexité. En copiant le modèle d'externalisation que Toyota a adopté, Boeing n'a pas fait une analyse comparative en termes de complexité de fabrication, la construction d'une voiture exige environ 15 000 - 20 000 pièces ; un avion a plus de 2 millions de pièces. « Le souci est que chaque organisation a fait ce qu'on lui a demandé, mais il y a eu un échec à rassembler l'ensemble, à intégrer les systèmes », a-t-il dit. Gupta pense qu'avec une meilleure communication et une meilleure organisation – ce qu'il appelle « des usines de connaissances 24 heures sur 24 » – l'externalisation pourrait réaliser des prouesses aussi complexes que le Dreamliner.

Selon Steve Denning (2013a)¹⁸⁵ le retard de développement, puis les problèmes techniques rencontrés par l'aéronef après son lancement sont des symptômes d'une maladie plus profonde qui ronge l'économie américaine depuis des décennies : mauvaises décisions *offshoring*¹⁸⁶ par le *C-suite*¹⁸⁷ :

L'*offshoring* n'est pas une question insignifiante à laisser aux comptables dans l'arrière-salle ou aux consultants à prix élevé armés de feuilles de calcul, promettant des profits rapides. Elle soulève des questions essentielles à la mission qui pourraient avoir une incidence sur la survie de sociétés entières, d'industries entières et, en fin de compte, de l'économie.

Sur une analyse superficielle, il apparaît que les retards du 787 sont dus à la décision de faire simultanément trop de changements radicaux. Ces changements incluent

¹⁸⁵ Denning, S. (2013a, 17 janvier). The Boeing Debacle: Seven Lessons Every CEO Must Learn. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/stevedenning/2013/01/17/the-boeing-debacle-seven-lessons-every-ceo-must-learn/#bd9f41f15c17>

¹⁸⁶ *Offshoring* est un modèle de relocalisation de processus d'un secteur à un autre afin de réduire les charges et les dépenses. Ce processus consiste à transférer certains services vers une autre localité ou un pays où les coûts sont moins élevés, ce qui permet d'obtenir des résultats plus significatifs et plus lucratifs.

¹⁸⁷ Le C-Level ou C-Suite est un terme informel utilisé pour désigner collectivement les cadres supérieurs d'une société en anglais, comme CEO (Chief Executive Officer - PDG), COO (Chief Operating Officer), CFO (Chief Financial Officer).

une technologie non éprouvée, les chaînes d'approvisionnement non conventionnelles, la capacité du fournisseur non éprouvée d'assumer de nouveaux rôles et responsabilités et les systèmes de coordination des TI non éprouvés constituent un changement radical et profond dans la manière d'agir de Boeing. Une des raisons pour lesquelles l'entreprise a accepté ce nouveau scénario est que l'équipe de direction initiale du 787 a sous-estimé les risques associés à tous ces changements. Boeing n'a pas mis en place une équipe multidisciplinaire ayant une expertise pour identifier et évaluer les divers risques liés à la SC, bien qu'il soit impossible d'identifier tous les risques potentiels dans un projet, une équipe multidisciplinaire aurait pu prévoir et éviter certains risques de projet, avoir préparé des stratégies proactives d'atténuation et des plans d'urgence qui réduiraient l'impact des différents problèmes auxquels Dreamliner a succombé (Tang, Zimmerman et Nelson, 2009).

Au troisième trimestre 2015, Boeing avait une perte d'US\$ 25 millions pour chaque 787 livré. Boeing a entrepris un effort pour réduire les coûts de production du modèle, a fait pression sur les fournisseurs pour qu'ils réduisent leurs prix et les ajustements à la chaîne d'assemblage afin d'améliorer l'efficacité de la production. L'un des principaux coûts de production du 787 est le titane, ce matériau noble coûte 7 fois plus cher que l'aluminium et représente environ 15 % du poids de l'avion.¹⁸⁸ L'utilisation du titane était la seule issue pour que l'entreprise ait dû réduire le poids de certains composants en acier qui devaient être renforcés (comme mentionné dans le travail), sans l'adoption du titane, l'avion ne pouvait tenir sa promesse d'économie de carburant. Même avec l'adoption du titane, la construction finale du modèle est devenue plus lourde que prévu. On estime que l'avion a un poids de 9,25 tonnes supérieur à celui prévu dans la planification initiale du projet.¹⁸⁹

¹⁸⁸ Scott, A. (2015, 24 juillet). Boeing looks at pricey titanium in bid to stem 787 losses. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-boeing-787-titanium-insight/boeing-looks-at-pricey-titanium-in-bid-to-stem-787-losses-idUSKCN0PY1PL20150724>

¹⁸⁹ Gates, D. (2009, 23 décembre). Boeing's 787 Dreamliner is no lightweight. *Los Angeles Times*. <https://www.latimes.com/archives/la-xpm-2009-dec-23-la-fi-dreamliner23-2009dec23-story.html>

Après l'achèvement de la conception de 787-8, Boeing s'est concentré sur le développement des variantes 787-9 et 787-10, qui, grâce à la courbe d'apprentissage du 787-8, ont également eu des retards, mais ont été développés sans perturbations majeures et les problèmes qui ont affecté la première variante. En plus des variantes du 787, le retard du projet Dreamliner a affecté les mises à jour du 777X et du 737 MAX, car Boeing a dû concentrer ses efforts sur l'achèvement du 787, en repoussant le renouvellement des deux modèles cités, ce qui, en particulier dans le cas du 737 MAX, a été un désastre.

3.3.12 Analyse des rapports financiers de Boeing

Les revenus, les coûts de production et autres dépenses générés par chaque avion fabriqué par Boeing ne sont pas répertoriés par modèle, pour le revenu et la R&D, la société déclare la valeur par les 4 filiales qui composent le groupe (avions commerciaux ; défense, espace et sécurité ; services globaux et Boeing Capital). Les coûts et autres dépenses sont indiqués dans les comptes consolidés des opérations. Cette particularité rend impossible une analyse des indicateurs financiers de l'entreprise et pour compliquer l'évaluation des indicateurs diffusés, Boeing adopte une méthode appelée inventaire des programmes d'aéronefs commerciaux, où chaque aéronef a sa propre comptabilité. Dans cette méthode, la compagnie a défini une quantité d'aéronefs (avec un sous-bloc de 100 unités) dont la livraison est prévue et construit un coût et une marge opérationnelle prédétermine pour chaque avion livré dans le bloc.¹⁹⁰ La valeur de l'inventaire comprend les chiffres relatifs aux coûts de production différés, aux avances aux fournisseurs, aux outils non amortis et à d'autres coûts non récurrents. Ces valeurs sont appelées travaux en cours de fabrication. Dans l'inventaire des programmes, les valeurs dépensées pour chaque aéronef manufacturé sont ajoutées au coût de production différé du programme. Un coût différé est un coût qui a été engagé, mais qui ne sera pas débité en tant que dépense

¹⁹⁰ Trimble, S. (2015, 22 avril). Boeing 787 unit loss declines, but deferred costs rise. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/boeing-787-unit-loss-declines-but-deferred-costs-rise/116629.article>

jusqu'à une période de référence ultérieure. En attendant, il apparaît dans le bilan comme un actif.

Dans le tableau 13, nous présentons quelques données financières du portefeuille de commandes et une estimation du bénéfice pour chaque 787 fabriqué et qui sera fabriqué. Ces données ont été obtenues dans les rapports financiers annuels de 2008 à 2019 et dans le rapport du premier semestre 2020 (dans le tableau, nous avons utilisé les données de 2010 à 2020). Pour une meilleure compréhension de l'information dans le tableau, nous décrivons quelles données constituent les valeurs de chaque élément, où chaque élément reçoit une lettre de l'alphabet (de A à N). Le premier élément (A) est les coûts différés ; le second (B) est les montants non amortis et autres dépenses non récurrentes ; la somme des deux premiers éléments constitue le coût partiel de l'avion (C), pour éviter une interprétation douteuse du terme coût partiel, au cours de ces travaux, nous adopterons la nomenclature du coût de production. Ce qui suit sont les valeurs attendues de recouvrement des coûts (D), ce montant est déclaré par Boeing. Le cinquième élément (E) contient la valeur annuelle moyenne du bénéfice par avion, le montant est calculé en divisant D avec L (D / L). Le sixième élément (F) couvre le montant prévu à recouvrer dans les commandes futures, l'obtention de ce montant est faite en soustrayant C par D ($C - D$). Le septième élément (G) contient la valeur du bénéfice moyen prévu des commandes futures pour couvrir les valeurs de l'élément F (valeur à récupérer dans les commandes futures), la valeur est obtenue en divisant F avec I (F / I). Le huitième élément (H) est le nombre d'unités du 787 que Boeing s'est mis à faire partie de l'inventaire du programme. Le neuvième point (I) est le montant des commandes attendues du 787, ce nombre est obtenu en soustrayant H par L ($H - L$). Dans le dixième élément (J) nous avons la valeur annuelle moyenne du bénéfice prévu de chaque 787 dans l'inventaire du programme, ce chiffre est calculé avec la somme des éléments D et F divisés par H ($D + F / H$). Dans le onzième article (K) nous avons la quantité d'avions non livrés des commandes fermes, cette quantité est obtenue en soustrayant L par M ($L - M$). Le douzième élément (L) contient le total des commandes fermes de 787. Dans le treizième élément (M), nous avons

la quantité accumulée d'avions livrés. Le quatorzième élément (N) contient le total de 787 livrés au cours de l'année, le montant est obtenu en soustrayant M de l'année précédente par M de l'année de l'élément, par exemple : M (2008) - M (2009). Par rapport aux valeurs du tableau, elles sont à des milliards de dollars, à l'exception des éléments E, G et J qui sont à des millions de dollars. Les articles H, I, K, L, M et N sont en unités.

Tableau 13 - Tableau des données et indicateurs financiers du 787

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 - 1S	
A	Coût de production différé	9,461	10,753	15,929	21,62	26,149	28,51	27,308	25,358	22,967	18,716	16,035
B	Coût outils non amortis et d'autres coûts	1,447	1,914	2,339	3,377	3,801	3,89	3,625	3,173	2,638	2,092	1,924
C	Coût partiel du 787	10,908	12,667	18,268	24,997	29,95	32,4	30,933	28,531	25,605	20,808	17,959
D	Recouvrement des coûts attendu		9,168	12,81	16,882	20,982	23,721	23,818	22,22	17,32	14,386	15,496
E	Average profit par plane (en US\$ millions)		10,660	15,106	16,390	19,591	20,771	19,848	17,414	12,505	9,860	10,499
F	Attente de reprise sous les commandes futures		3,499	5,458	8,115	8,968	8,679	7,115	6,311	8,285	6,422	2,463
G	Profit par avion nécessaire pour recouvrer le coût (en US\$ millions)		14,579	21,659	30,056	39,162	54,930	71,150	50,895	38,535	45,546	10,263
H	Quantité de l'inventaire du programme		1100	1100	1300	1300	1300	1300	1400	1600	1600	1500
I	Commandes attendues		240	252	270	229	158	100	124	215	141	24
J	Bénéfice prévu par avion dans l'inventaire du programme (en US\$ millions)		11,515	16,607	19,228	23,038	24,923	23,795	20,379	16,003	13,005	11,973
K	Unités non livrées sous commandes fermes		857	799	916	843	779	700	640	604	520	501
L	Commandes fermes cumulées		860	848	1030	1071	1142	1200	1276	1385	1459	1476
M	Unités de livraison cumulées		3	49	114	228	363	500	636	781	939	975
N	Unités livrées dans l'année		3	46	65	114	135	137	136	145	158	36

À l'avance, nous avons constaté qu'avant que le premier avion soit livré, Boeing avait déjà accumulé US\$ 10,908 milliards de coûts de production du 787. En fait, ce chiffre était plus élevé, au troisième trimestre 2009, il a été transféré US\$ 2,7 milliards de

coûts de production des 3 premiers avions d'essai pour la R&D, sans ce transfert les coûts seraient d'US\$ 13,608 milliards. L'allocation des 3 appareils à la R&D est due à la quantité excessive de retravail et de modifications qui leur ont été apportés. En 2016, deux autres avions du programme d'essais avec la valeur d'US\$ 1 milliard ont été transférés à la R&D. Ainsi, les montants consacrés à la construction des 6 avions d'essai, aux corrections techniques et opérationnelles du projet et à l'aide aux fournisseurs s'ajoutent aux US\$ 13,4 milliards de R&D, ce qui représente une dépense d'US\$ 24,308 milliards. Nous soulignons que dans le tableau 13, les valeurs de R&D ne sont pas prises en compte.

Une autre donnée importante que nous constatons est qu'en 2015 le solde du coût de production de 787 a atteint sa valeur maximum d'US\$ 32,4 milliards. En affinant l'analyse, on constate une énorme variation des valeurs des 3 bénéfices par avion rapporté dans le tableau 13 est vérifiée, comme le montrent les figures 26 et 27.

Figure 26 - Comparaison entre les profits du tableau 13



La figure 26 montre que le bénéfice requis par avion pour couvrir les coûts restants (en bleu) commence par un montant d'US\$ 14,579 millions en 2011 et atteint un montant impressionnant d'US\$ 71,150 millions en 2016, une variation qui confond et rend une analyse irréalisable. Une autre distorsion est le bénéfice estimé par avion dans l'inventaire du programme (en rouge), en 2011 la valeur était d'US\$ 11,515 millions, atteignant un maximum d'US\$ 24,923 millions en 2014 et est actuellement d'US\$ 11,973 millions.

Figure 27 - Profit par avion dans l'inventaire avec la variation en pourcentage



À la figure 27, nous avons vérifié le changement d'une année à l'autre du pourcentage de la valeur des bénéfices par avion dans l'inventaire du programme. De 2011 à 2012, le pourcentage était de 44,22 %, de 2012 à 2013, le pourcentage était de 15,78 %, et ainsi de suite, actuellement (2020-1S – 1S = premier semestre) la variation a atteint -7,94 % (2019 à 2020), mais si l'on compare la valeur initiale (11,515) et la valeur actuelle (11,973), nous avons constaté que pratiquement le montant était stable au cours de la période de 2011 à 2020-1S.

D'autres indicateurs peuvent être obtenus à partir des données du tableau 13. Entretemps, étant la variance et des distorsions qu'ils présenteraient et seraient ainsi exclus entre eux en invalidant une compréhension de l'évolution du bénéfice moyen de chaque aéronef et de l'évolution du coût de production cumulé. Nous allons donc développer une analyse qui indiquera le bénéfice monétaire par avion de 787 entre 2018 et 2019 et la nécessité de profit par les aéronefs non livrés avec des commandes fermes pour couvrir le solde du coût de production.

En 2018, Boeing a fabriqué 145 unités du 787, pour produire cette quantité, la société a dépensé US\$ 2,926 milliards [article C - coût partiel de 787 2017 (28,531) - 2018 (25,605)], donc nous avons une marge d'US\$ 20,179 millions par avion (2,926 / 145). En 2019, 158 unités ont été assemblées, pour un coût d'US\$ 4,797 milliards [article C - coût partiel de 787 2018 (25,605) - 2019 (20,808)], avec une marge par aéronef d'US\$ 30,360 millions (4,797 / 158). En 2020-1S, Boeing indique qu'il a un solde de coûts partiel (article C) d'US\$ 17,959 milliards à récupérer et 501 appareils à livrer (article K), il faudra donc une marge d'US\$ 35,846 millions par avion (17,959 / 501). Si l'on a utilisé la marge par aéronef de 2019 (30,360), il y aura une différence d'US\$ 5,486 millions (35,846 - 30,360) par avion, totalisant US\$ 2,748 milliards (5,486 x 501) de coûts de production à récupérer. On peut ainsi constater que les 1 476 unités de commandes fermes ne couvrent pas le coût de production du 787, la fabrication supplémentaire de 91 avions (2,748 milliards / 30,360 millions), étant nécessaire, pour le solde soit remis à zéro.

Si le 787 affiche une tendance de marge en valeur constatée en 2018, Boeing a une différence d'US\$ 15,667 millions par avion (35,846 - 20,179), totalisant US\$ 7,849 milliards (15,667 x 501) de coût de production à récupérer. En maintenant la marge de 2018, il serait nécessaire de fabriquer encore 389 unités de Dreamliner (7,849 milliards / 20,179 millions). On peut vérifier que, dans cette méthodologie, les valeurs des bénéfices sont beaucoup plus élevées que la première analyse du tableau 13, parce que nous y travaillons avec le coût de production divisé par la quantité d'aéronefs fabriqués.

Enfin, nous avons un nombre infini de scénarios qui seraient projetés à l'aide de différentes méthodologies d'analyse. Mais à l'heure actuelle, en raison de l'incertitude de l'intensité et du temps requis pour la reprise économique du secteur aérien, les calculs ne sont que des probabilités. Cependant, les projections actuelles que Boeing lui-même a faites dans son rapport financier de 2020-1S indiquent une diminution de la marge bénéficiaire de 787 pour 2020 et 2021. La pandémie de Covid-19 a forcé Boeing à réduire à 10 unités la production de Dreamliner et en 2021 la quantité sera ajustée à 6 avions par mois. Dans ce rapport, nous disposons déjà une indication que le profit du 787 sera réduit, puisque la quantité de l'inventaire du programme a été réduit de 1 600 à 1 500 avions, en conséquence, il y aura un bénéfice par avion plus faible.

Nous soulignons que si Boeing remet à zéro son solde de coût de production (coûts différés + outils) dans l'inventaire du programme, cela ne signifiera pas nécessairement que point d'équilibre du 787 a été atteint, mais que le bénéfice projeté dans l'inventaire du programme a été atteint. En d'autres termes, la comptabilité d'inventaire suppose des revenus et des coûts estimés sur la durée de l'inventaire, mais en parallèle, au fur et à mesure que 787 ont été produits, nous avons la comptabilité réelle, où le résultat sera le bénéfice ou la perte du projet. Donc, en gros modo, Boeing travaille avec deux méthodes comptables pour mesurer le profit de ses modèles, le profit réel et le profit présumé. Si le bénéfice réel est supérieur au bénéfice supposé, le coût différé diminue, si le bénéfice réel est inférieur au profit présumé, le coût différé augmente. Par conséquent, le solde différé indique à quel point le programme a été rentable ou non jusqu'à présent par rapport au bénéfice présumé.¹⁹¹

Airbus et Embraer font état de pertes dans les nouveaux programmes d'avions à mesure qu'ils s'accumulent au cours du développement et de la production, de sorte que le suivi de l'évolution d'un modèle est évident. Boeing, d'autre part, en adoptant

¹⁹¹ Bechai, D. (2020, 19 février). Boeing 787 Profits Are Flattening After A Strong Year. *Seeking Alpha*. <https://seekingalpha.com/article/4324981-boeing-787-profits-are-flattening-after-strong-year>

l'inventaire du programme qui permet d'anticiper les bénéfices futurs sur ses gains actuels. Le problème, disent les analystes et d'autres critiques, est que l'approche de Boeing consiste à étendre le bénéfice par avion du 787 à un avenir si lointain et incertain qu'il n'est pas clair si la société va récupérer les montants dépensés sur la production de l'avion et si le bénéfice projeté sera validé dans la période d'inventaire. Si Boeing comptabilisait ses avions sans l'adoption de l'inventaire des programmes, les gains d'US\$ 22,1 milliards du département des avions commerciaux qui ont eu lieu entre 2012 et 2016 auraient présenté une perte d'US\$ 1,85 milliard, selon les analystes.¹⁹² En d'autres termes, grâce à la comptabilité d'inventaire du programme, qui, nous le soulignons, est conforme aux normes comptables américaines, Boeing ne divulgue pas de données précises de ses pertes et profits dans ses rapports, au contraire elle occulte les risques.¹⁹³

Boeing a initialement estimé que son coût de production moyen du 787 serait d'environ US\$ 40 millions, hors moteurs et intérieurs personnalisés, disent deux anciens employés de Boeing. Aujourd'hui (2016), le coût moyen de production du 787 est plus du double (Ostrower, 2016).

Selon Ingram et Aubin (2016), la comptabilité de programme a été historiquement utilisée dans l'industrie aérospatiale américaine pendant des décennies comme un moyen de répartir des milliards de dollars en coûts de développement sur plusieurs années. La technique réduit le coût par avion aux premiers stades d'un projet, lissant les marges bénéficiaires au fil du temps. La méthode peut mal tourner si une entreprise surestime d'abord le nombre d'avions qu'elle prévoit vendre ou si et/ou ses coûts sont significativement plus élevés que prévu. Ces deux scénarios donnent lieu à des calculs

¹⁹² Ostrower, J. (2016, 4 octobre). Boeing's Unique Accounting Method Helps Improve Profit Picture. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/boeings-unique-accounting-method-helps-improve-profit-picture-1475522362>

¹⁹³ Stoller, M. (2019, 19 décembre). Airplanes and Accounting Games: The Coming Boeing Collapse? *Matt Stoller*. <https://mattstoller.substack.com/p/airplanes-and-accounting-games-the>

erronés de la marge d'entreprise.¹⁹⁴ Nous constatons que Boeing n'a pas surestimé les ventes du 787, mais a sous-estimé le coût de production de l'avion, qui, avec le laps de temps de l'inventaire, a augmenté la probabilité d'occurrence de risques imprévus, comme cela se produit actuellement avec le Covid-19, a compromis et peut même entraver la récupération des coûts de production de 787. Rappelant que nous ne considérons même pas la récupération du coût de développement employé dans Dreamliner, si nous considérons la valeur de la R&D, nous prévoyons que Boeing devrait vendre quelque chose entre 475 et 714 avions en plus de son portefeuille de commandes actuel.

Visant une analyse efficace de la façon dont la politique de financiarisation de Boeing et comment cette « nouvelle politique et culture » ont eu des effets néfastes sur l'entreprise, à travers les indicateurs développés dans l'étude, nous détecterons à quel moment la C-suite (haute direction) a adopté la directive de la financiarisation. Toutefois, la parcimonie est nécessaire dans l'analyse des indicateurs pour éviter les distorsions et les interprétations inappropriées des données.

Comme Boeing adopte la comptabilité de programme, est impraticable une analyse réelle des indicateurs financiers traditionnels, tels que la marge de contribution, le point d'équilibre, le rendement des investissements, etc. Nous analyserons les résultats financiers de l'entreprise entre 1978 et le premier semestre de 2020, au cours de cette période sera démontrée l'évolution des revenus annuels, le bénéfice d'exploitation, les valeurs investies dans la R&D, les montants consacrés au rachat d'actions et aux dividendes versés.

- Revenu total : Il s'agit de la totalité de l'entrée monétaire qui se produit dans l'entreprise, comme les ventes de produits et de services, les intérêts perçus et la vente d'un actif ;
- Le bénéfice d'exploitation : Est la rentabilité de l'entreprise, avant prise en compte des intérêts et des impôts. Il s'agit du montant d'argent qui reste après avoir soustrait toutes

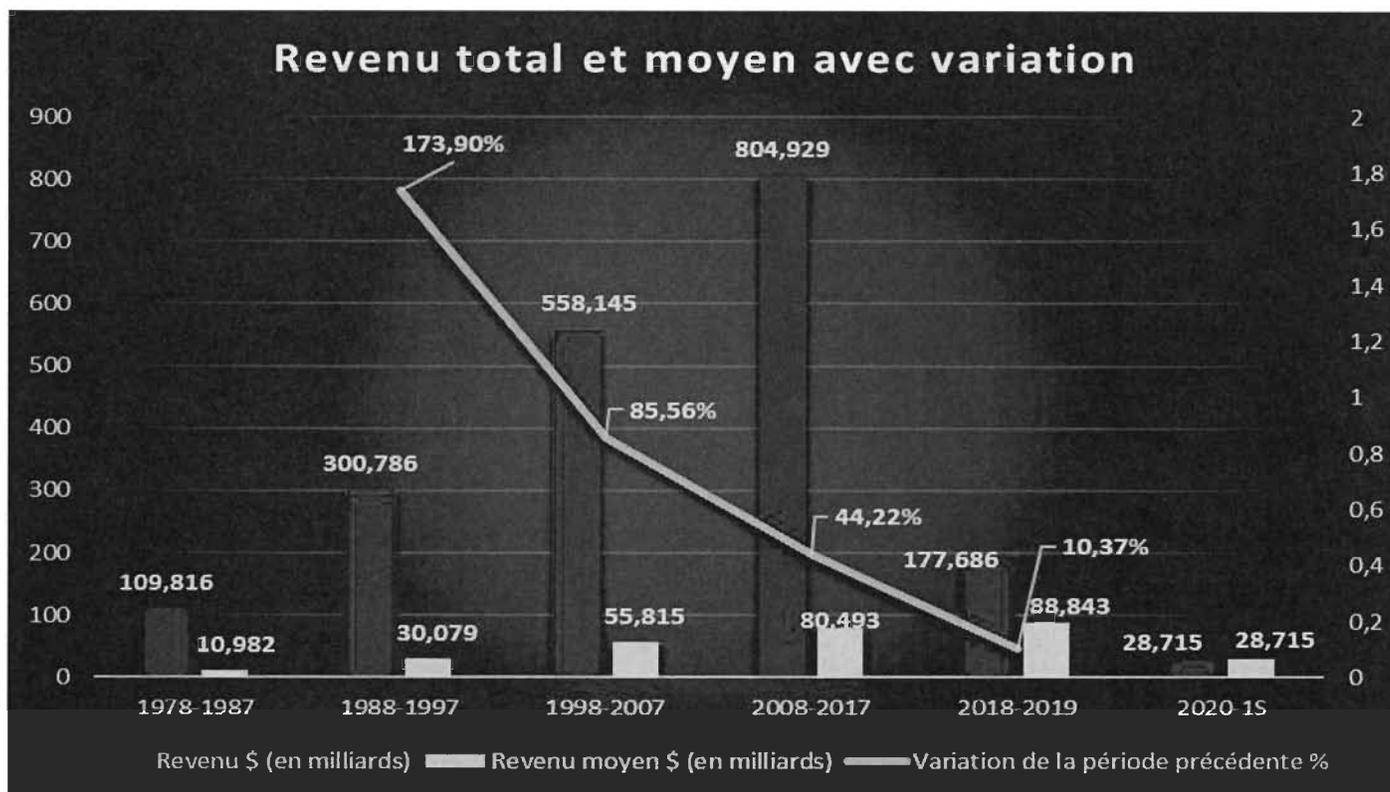
¹⁹⁴ Ingram, D. et Aubin, D. (2016, 12 février). Boeing uses an accounting method that others have left behind. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-boeing-probe-accounting-idUSKCN0VL2K0>

les dépenses (frais d'exploitation) des revenus, de cette façon, il est un indicateur clé de l'activité d'une entreprise. Il permet, en effet, d'apprécier la performance économique de la compagnie sans tenir compte d'événements exceptionnels ou des modalités de financement choisis par la société ;

- R&D : Il s'agit des dépenses effectuées pour la R&D de biens ou de services d'une entreprise. Bien que le R&D soit considéré comme une dépense si elle était bien appliquée, il deviendrait un investissement pour une entreprise, car elle permet la création ou l'amélioration de produits, de processus et de connaissances. Il convient de noter que dans plusieurs pays (États-Unis inclus), une partie des dépenses de R&D sont déductibles des impôts que la société doit payer ;
- Rachat d'actions : Le rachat d'actions est une transaction dans laquelle la société rachète ses propres actions sur le marché, pour les détenir dans sa trésorerie ou les annuler ;
- Dividendes payés : C'est la distribution d'une partie des gains d'une entreprise à ses actionnaires.

Nous avons adopté une méthodologie pour comparer les indicateurs des 20 années précédentes (1978 à 1997) avec les 20 années suivantes (1998 à 2017) de l'achat de MD, afin de démontrer à travers les indicateurs qu'à partir de ce moment est le point où le Boeing a commencé à privilégier une culture d'entreprise qui a prisé les profits à court terme plutôt que la domination de l'ingénierie à long terme. Comme la période d'évaluation est de 42 ans, nous utilisons un bloc de temps pour condenser les données, de cette façon nous aurons 4 périodes de temps d'une portée de 10 ans (1978 à 1987 ; 1988 à 1997 ; 1998 à 2007 et 2008 à 2017), suivie d'une période de 2 ans (2018 à 2019) et puisque les données disponibles de 2020 sont jusqu'au premier semestre, l'année 2020 sera dans un autre bloc de période, totalisant ainsi 6 blocs de période. Un autre facteur pour l'année 2020 étant dans un bloc séparé est de visualiser l'impact du Covid-19 sur un constructeur aéronautique ainsi que l'impact de mise à la terre du 737 MAX.

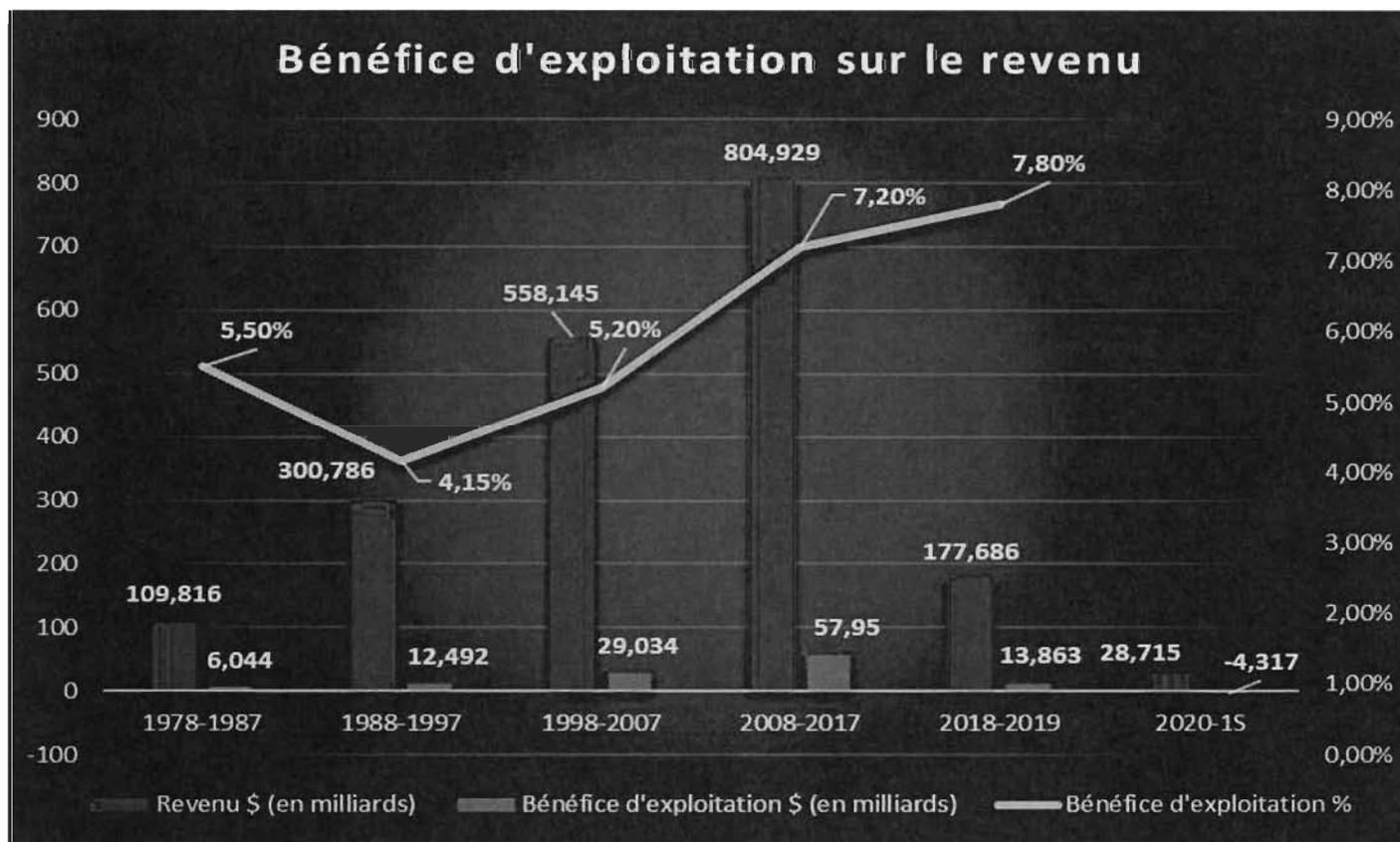
Figure 28 - Revenu total et moyen de Boeing entre 1978 et 2020-1S



De 1978 à 1987, les revenus accumulés se sont élevés à US\$ 109,816 milliards, avec une moyenne annuelle d'US\$ 10,982 milliards. Entre 1998 et 1997, le chiffre d'affaires cumulé était d'US\$ 300,786 milliards, avec une moyenne annuelle d'US\$ 30,079 milliards, entre la première et la deuxième période, il y a eu une croissance de 173,90 % du chiffre d'affaires. Au cours de la période de 1998-2007, les ventes de Boeing ont atteint US\$ 558,145 milliards, pour une moyenne annuelle d'US\$ 55,815 milliards, avec une augmentation de 85,56 % par rapport à la période précédente. Entre 2008 et 2017, les revenus accumulés se sont élevés à US\$ 804,929 milliards, pour une moyenne annuelle d'US\$ 80,493 milliards, soit une élévation de 44,22 % au cours de la période précédente. Entre 2018 et 2019, les ventes cumulées ce sont US\$ 177,686 milliards, avec une moyenne annuelle d'US\$ 88,843 milliards, avec une croissance de 10,37 % par rapport à la période antécédente. Enfin, au premier semestre 2020, Boeing a réalisé un chiffre d'affaires d'US\$ 28,715 milliards, ce qui démontre la force que les ventes de

l'entreprise ont été affectées par l'échouement du 737 MAX et du Covid-19. Dans ce graphique, nous pouvons vérifier qu'il y a eu une augmentation de la moyenne annuelle de chiffre d'affaires d'une période à l'autre dans 5 blocs de temps, mais il est notoire que l'intensité de la croissance a diminué au fil des ans.

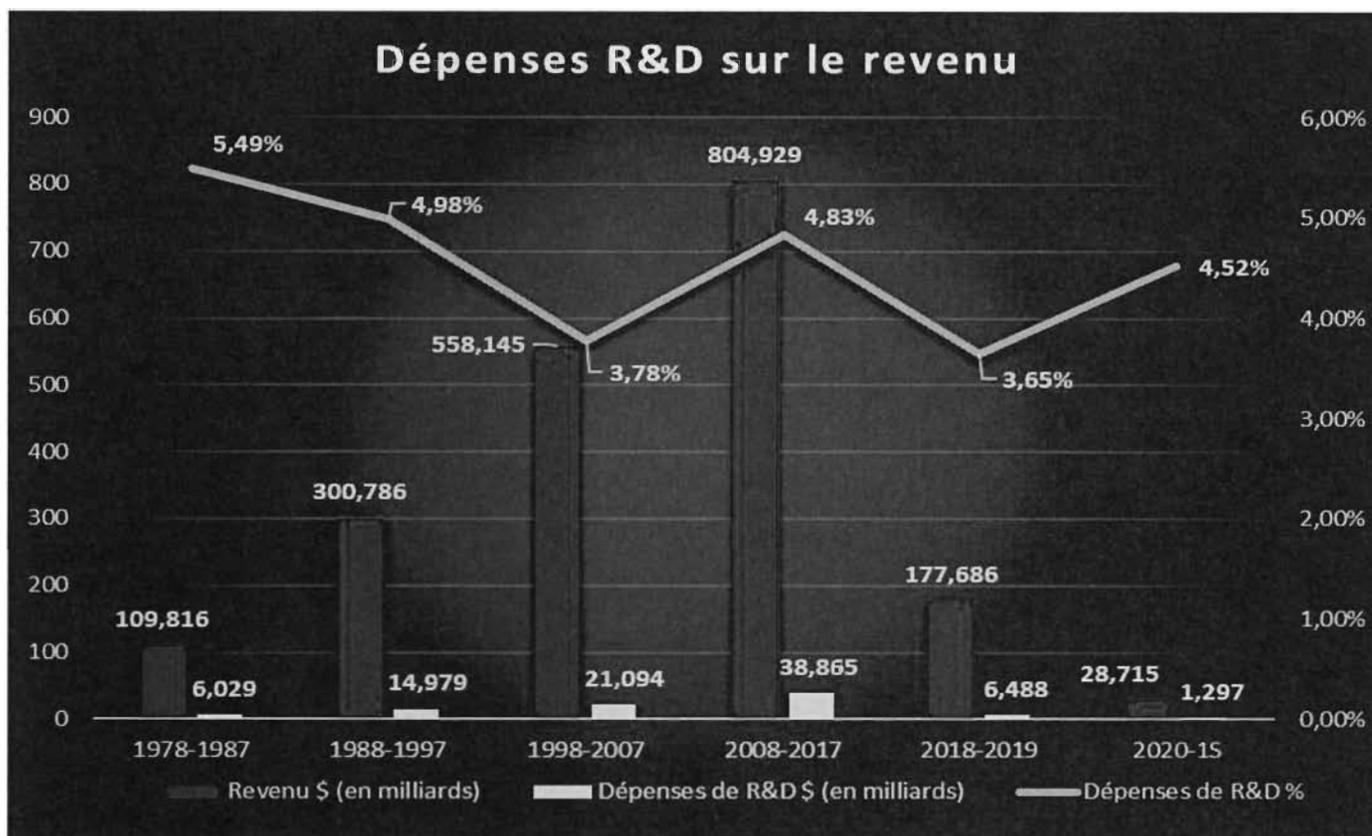
Figure 29 - Marge du bénéfice opérationnel sur les revenus



Sur la période 1978-1987, le bénéfice d'exploitation cumulé a été d'US\$ 6,044 milliards, avec une marge de 5,50 % des revenus. De 1988 à 1997, le bénéfice d'exploitation cumulé s'est élevé à US\$ 12,492 milliards, soit une marge de 4,15 % du chiffre d'affaires. Entre 1998 et 2007, il y a eu un résultat opérationnel cumulé d'US\$ 29,034 milliards eu égard à 5,20 % des revenus. Entre 2008 et 2017, le résultat d'exploitation cumulé s'est élevé à US\$ 57,950 milliards, soit une marge de 7,20 % du chiffre d'affaires. Au cours de la période 2018-2019, le bénéfice d'exploitation cumulé

était d'US\$ 13,863 milliards, ce qui représente 7,80 % du revenu, et jusqu'au premier semestre 2020, la société a accumulé une perte d'US\$ 4,317 milliards.

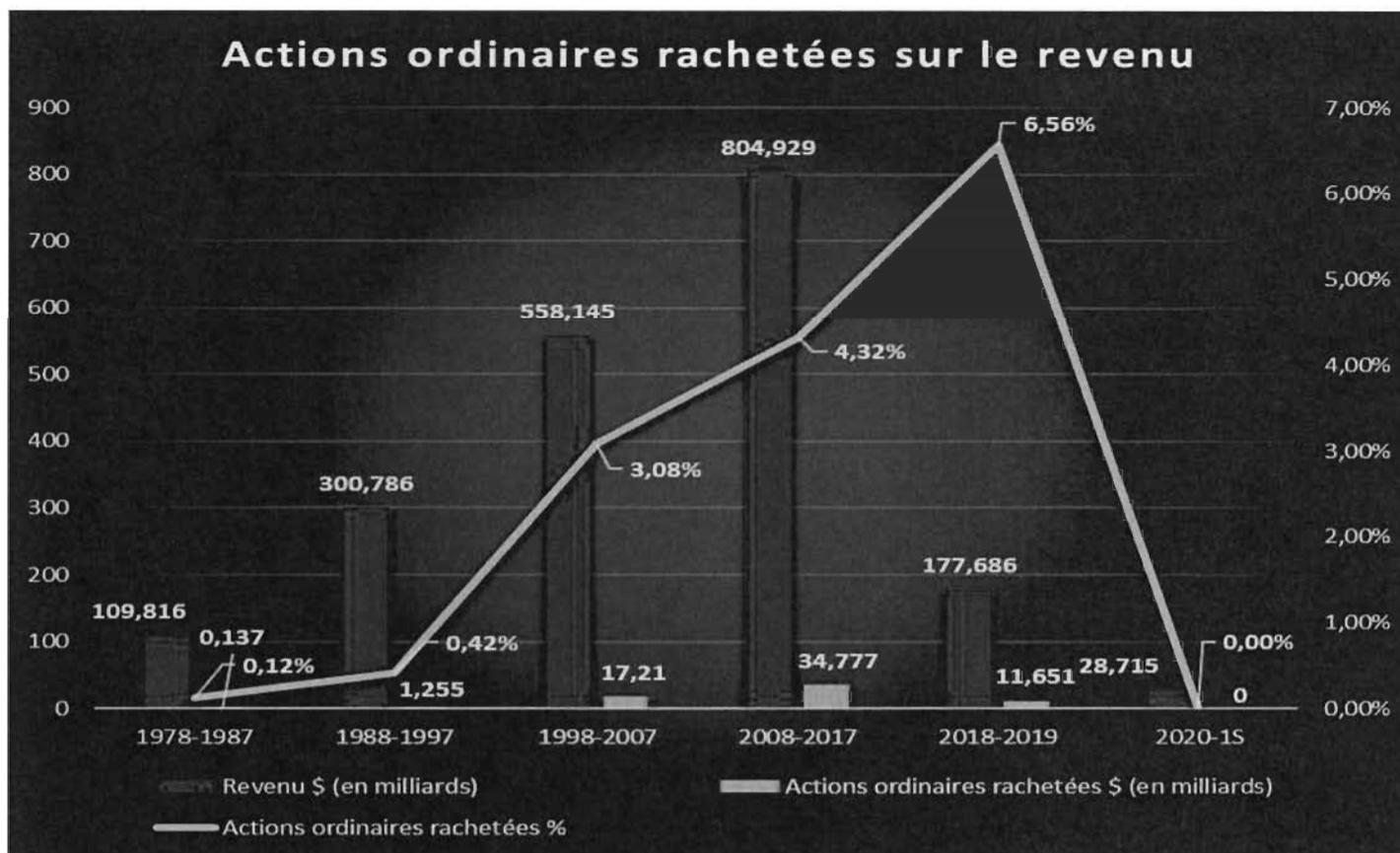
Figure 30 - Dépenses en R&D sur le revenu



Entre 1978 et 1987, Boeing a investi US\$ 6,029 milliards en R&D, soit 5,49 % du chiffre d'affaires. Entre 1988 et 1997, le montant s'élevait à US\$ 14,979 milliards, ce qui représente 4,98 % des revenus. Au cours de la période 1998-2007, le montant cumulé investi en R&D s'élevait à US\$ 21,094 milliards, ce qui représentait 3,78 % des revenus. Entre 2008 et 2017, la valeur appliquée en R&D était d'US\$ 38,865 milliards, soit 4,83 % des revenus. Entre 2018 et 2019, le chiffre était d'US\$ 6,488 milliards, soit 3,65 % des ventes. Jusqu'au premier semestre 2020, les investissements en R&D s'élevaient à US\$ 1,297 milliard, soit 4,52 % des revenus. Grâce à ce graphique, nous pouvons vérifier que le taux d'investissement de Boeing a diminué au fil des ans et qu'il n'y a eu récupération

qu'à certains moments en raison de situations ponctuelles, au cours de la période de 2008-2017 coïncide avec le lancement de 787 et nous avons constaté qu'entre 2008 et 2011, le montant investi en R&D était d'US\$ 18,313 milliards, avec une moyenne d'US\$ 4,578 milliards et le reste de la période s'élevait à US\$ 20,552 milliards, moyenne d'US\$ 3,425 milliards. Au cours de la période allant de 2018 à 2019, US\$ 3,269 et US\$ 3,219 milliards ont été investis respectivement en R&D.

Figure 31 - Histogramme de rachat d'actions ordinaires



La figure 31 montre l'historique du rachat d'actions ordinaires. Entre 1978 et 1987, US\$ 137 millions ont été consacrés au rachat d'actions, ce qui représente 0,12 % des revenus. Au cours de la période allant de 1988-1997, US\$ 1,255 milliard ont été dépensés au rachat d'actions, soit 0,42 % des revenus. Entre 1998 et 2007, Boeing a dépensé US\$ 17,210 milliards pour racheter des actions, ce qui représente 3,08 % des

chiffres d'affaires de la période. Entre 2008 et 2017, la société a déboursé US\$ 34,777 milliards de rachats d'actions, ce qui donne 4,32 % du revenu. Entre 2018 et 2019, le rachat d'actions a atteint US\$ 11,651 milliards, soit 6,56 % du chiffre d'affaires obtenu au cours de la période. Le graphique montre mathématiquement le changement radical de la culture de Boeing qui a historiquement été de réinvestir dans le développement de nouveaux produits ou dans l'amélioration des processus et de la technologie, en la remplaçant par la culture financière de MD. Au cours des 20 années précédentes (1978 à 1997) de l'acquisition de McDonnell, Boeing a dépensé US\$ 1,392 milliard pour les rachats d'actions et, au cours des 20 années qui ont suivi (1998-2017), le montant dépensé s'est élevé à US\$ 51,987 milliards, soit une augmentation de 3 734,70 %. Une autre donnée qui corrobore la constatation des dommages que la financiarisation occasionne à l'entreprise est qu'entre 2018 et 2019 il y a eu un investissement d'US\$ 6,488 milliards en R&D, tandis que pour le rachat d'actions a été dépensé US\$ 11,651 milliards. Les chiffres parlent d'eux-mêmes et démontrent clairement comment l'absorption culturelle de MD, obsédé par la réduction excessive des coûts, généreuse dans la distribution de dividendes aux actionnaires et le rachat d'actions (afin d'augmenter les avantages rémunérateurs pour la haute direction), et, donc financière, a éloigné l'ingénierie « coûteuse et innovante » de Boeing loin de la haute direction de l'entreprise. Nous vous rappelons que s'il n'était pas acquis par Boeing, McDonnell Douglas serait en faillite, en raison de retards dans les livraisons, divers problèmes techniques dans ses avions et de l'éclatement du coût de développement de ses produits, quelque chose qui sonne familier par rapport aux problèmes rencontrés par le 787 et récemment par le 737 MAX.

Figure 32 - Dividendes payés sur le revenu



La figure 32 montre qu'entre 1978 et 2007, le pourcentage des dividendes versés aux actionnaires variait de 1,37 % (1978-1987), à 1,19 % (1988-1997) et de 1,23 % (1998-2007), mais à partir de 2008, le taux a progressivement augmenté, entre 2008 et 2017, les dividendes versés ont représenté 2,30 % des revenus de la période et entre 2018 et 2019, le pourcentage représentait 4,83 % des revenus accumulés. Même en 2020, alors que la crise financière s'est aggravée en raison de l'échouement du 737 MAX et de la crise Covid-19, Boeing a versé US\$ 1,158 milliard de dividendes à ses actionnaires, 4,03 % du revenu. Ce paiement a d'ailleurs suscité une controverse, le 20 mars 2020, Boeing a annoncé qu'elle suspendait le paiement de dividendes en 2020, émettant ainsi un signe « d'engagement social » pour que le Congrès des États-Unis approuve la ligne de crédit

d'aide de US\$ 60 milliards que le gouvernement américain a accordé à l'entreprise.¹⁹⁵ Toutefois, la société n'a pas tenu sa promesse et, en 2020, elle a distribué des bénéfices aux actionnaires.

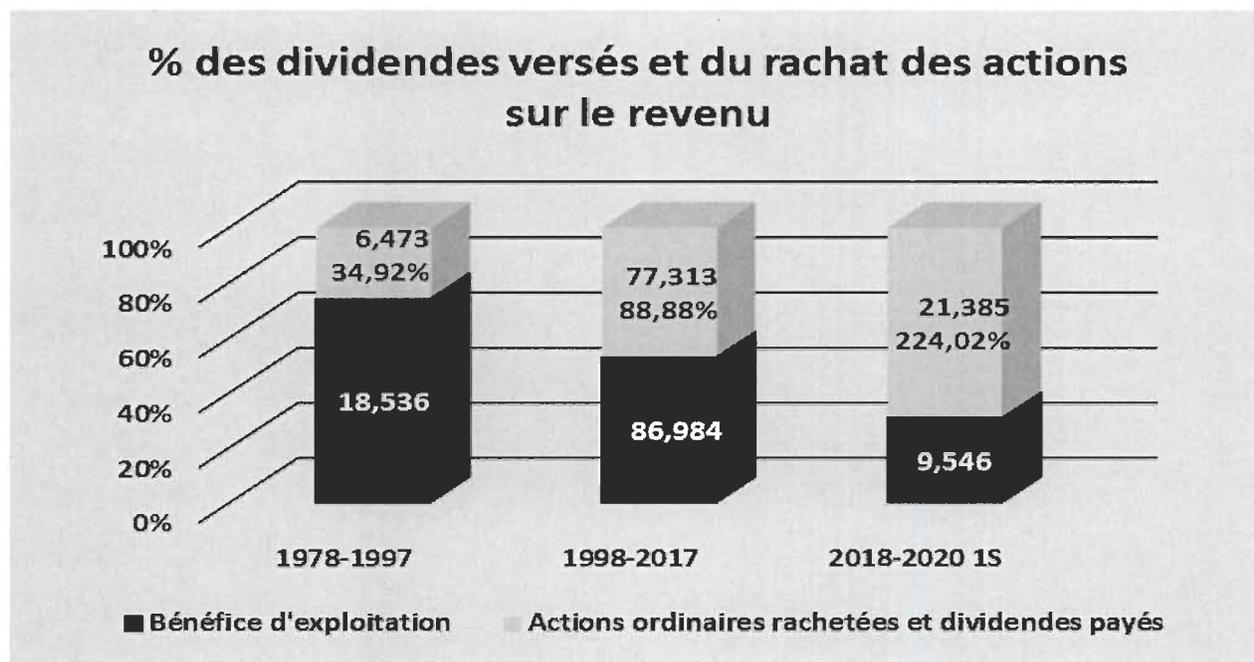
Le rachat d'actions et les paiements de dividendes aux actionnaires réduisent la trésorerie disponible de l'entreprise, ce qui le donne moins de ressources pour réaliser des investissements ou disposer de liquidités suffisantes pour couvrir les périodes de difficultés financières.

Selon Bogaisky (2020) :

Les critiques ont accusé Dennis Muilenburg (PDG Boeing entre 2015-2019) et son prédécesseur et mentor, Jim McNerney (PDG Boeing entre 2005-2015), de se concentrer sur l'augmentation du rendement des actionnaires d'une manière qui érodait la priorité que l'ingénierie avait longtemps détenue à l'entreprise. Sous Muilenburg, environ 95 % des flux de trésorerie d'exploitation ont servi à financer des rachats d'actions et des augmentations régulières des dividendes.

¹⁹⁵ Bogaisky, J. (2020, 20 mars). Boeing Suspends Dividend, Top Execs Give Up Pay As Congress Moots Coronavirus Bailout. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/jeremybogaisky/2020/03/20/boeing-suspends-dividend-top-exec-give-up-pay-as-they-wait-for-bailout/#7b2d606927ad>

Figure 33 - Pourcentage de participation aux dividendes payés et rachat d'actions sur le revenu

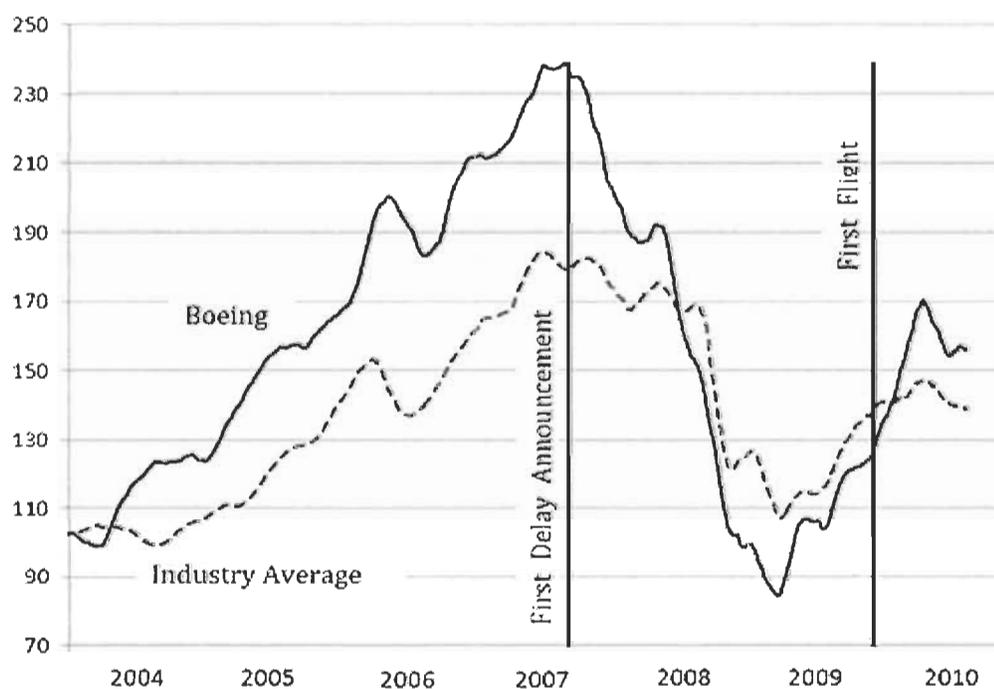


La figure 33 montre que Boeing a réalisé un bénéfice d'exploitation d'US\$ 18,536 milliards entre 1978 et 1997 sur cette période la valeur utilisée pour le rachat d'actions et le paiement de dividendes s'élevait à US\$ 6,473 milliards, soit 34,92 % du bénéfice d'exploitation cumulé. Entre 1998 et 2017, le bénéfice d'exploitation cumulé s'est élevé à US\$ 86,984 milliards et le montant consacré au rachat d'actions et de dividendes versés était d'US\$ 77,313 milliards, 88,88 % du bénéfice cumulé. Entre 2018 et 2020-1S, le bénéfice d'exploitation a été d'US\$ 9,546 milliards, mais le montant dépensé pour les dividendes et le rachat d'actions était d'US\$ 21,385 milliards, 224,02 % du bénéfice cumulé, c'est-à-dire qu'au cours de la période allant de 1998 à 2020-1S, le bénéfice d'exploitation s'est élevé à US\$ 96,530 milliards et le montant consacré aux dividendes et au rachat d'actions s'élevait à US\$ 98,698 milliards, soit 102,25 % du bénéfice d'exploitation.

En général, lorsqu'une société rachète des actions, elle le fait pour trois raisons. La première est qu'elle souhaite réduire le montant dépensé en dividendes, la seconde est de redistribuer les actions acquises ou de les vendre à ses propres employés et dirigeants dans le système de *Stock-Options*. Le troisième est d'acheter et d'annuler ces actions, permettant ainsi un dividende plus élevé par action. Comme on peut le voir dans les indicateurs, l'intention de Boeing de racheter ses actions n'est pas de réduire les dépenses avec le paiement des dividendes, mais plutôt un mélange de la deuxième et de la troisième raison.

Bien que la culture de financiarisation de Boeing valorise la performance des actions (augmentation de la valeur des actions), ce qui s'est produit avec les retards du 787 a été un effet inverse, de la première annonce de retard jusqu'au premier essai en vol, les performances des actions Boeing ont été inférieures à la moyenne de l'industrie aérospatiale et de la défense, comme indiqué ci-dessous :

Figure 34 - Performance des actions Boeing de 2004 à 2010



Source : Elahi, Sheikhzadeh et Lamba (2014)

Enfin, pour souligner l'impact que les retards survenus dans le cadre du programme 787 ont causé d'importants dommages financiers à Boeing, nous citons que, selon le rapport financier 2019, l'Airbus A350 a atteint son point d'équilibre. Ce qui signifie que les coûts, les dépenses et les investissements réalisés pour le développement du modèle ont été réduits à zéro. Le point d'équilibre a été atteint avec la vente de 349 appareils.¹⁹⁶ En comparaison, le 787 a vendu 975 unités et, comme le montrent les indicateurs, est très loin d'atteindre le point d'équilibre. Cette différence démontre clairement l'effet financier que le retard a eu sur Boeing. Se rappeler qu'un retard de projet reflète le paiement d'amendes (octroi de rabais pour indemniser les compagnies aériennes) et des coûts et dépenses supplémentaires.

En conclusion, le 787 est un projet phénoménal, l'avion a atteint ses objectifs liés à l'économie de carburant, le confort des passagers et a permis aux compagnies aériennes d'offrir de nouvelles routes jusqu'ici impossibles avant le Dreamliner. Si Boeing avait suivi sa philosophie et partiellement innové dans l'externalisation, la conception du 787 aurait été plus efficace et efficiente. En outre, le retard et l'augmentation exponentielle des coûts de développement et de production du 787 ont affecté l'entreprise en retardant la finalisation du 747-8 et des projets de rénovation du 777-X et 737 MAX. Dans le cas du 737 MAX, le retard du Dreamliner a indirectement affecté son remplacement, mais comme nous l'avons vérifié à la figure 33 (page 165), la financiarisation de la compagnie était au cœur de l'option de Boeing de choisir la mise à jour du 737 au lieu de la remplacer. Ce scénario conduit à la conclusion que la haute direction de l'entreprise souffre d'une mauvaise prise de décision et que la politique agressive de réduction des coûts affecte le talent de l'entreprise pour la construction d'avions.

¹⁹⁶ Bailey, J. (2020, 14 février). Airbus A350 Break Even Target Achieved In 2019. *Simple Flying*. <https://simpleflying.com/airbus-a350-break-even/>

Frost (2020) a parfaitement résumé la situation de Boeing :

Il n'y a pas de solution facile pour Boeing. Une entreprise qui a établi la norme en matière de fabrication d'avions à réaction est aujourd'hui confrontée à une crise qui touche au cœur de son identité : sa capacité à construire des avions. La mise au rebut du 737 signifierait la perte d'un nombre incalculable de milliards - ne pas la mettre au rebut pourrait encore coûter encore plus cher. Mais si, comme cela semble évident, les réductions de coûts de l'entreprise l'ont amenée sur la voie de ce gâchis, ce sont peut-être ses ingénieurs qui sont forcés de la ramener à la lumière.¹⁹⁷

3.4 RETARDS DU PROJET AIRBUS A380

En 1988, Airbus a commencé à travailler sur le développement d'un nouvel avion ultra-haute capacité (UHCA en anglais) pour concurrencer le Boeing 747. En 1990, la compagnie a annoncé le projet indiquant que le nouvel avion avait pour objectif d'avoir un coût d'exploitation 15 % inférieur à la 747-400. À l'époque, Airbus n'était pas réuni sous une seule société, elle était formée par un consortium de 4 constructeurs aéronautiques, et en raison de cette structure organisationnelle, le développement de l'A380 a été réalisé par une équipe d'ingénieurs et de conception de chacun de ses consortiums (Aérospatiale de France, British Aerospace du Royaume-Uni, CASA d'Espagne et Deutsche Aerospace AG d'Allemagne) qui formait l'Airbus Industrie GIE (GIE - Groupement d'intérêt économique) et comme nous le verrons au cours de l'étude, cette particularité a été le point de départ des retards qui ont affecté le projet, car la prémisse du consortium serait que les deux principaux partenaires (France et Allemagne) gèreraient la société conjointement, donc Airbus avait 2 PDG, connus sous le nom de co-PDG, l'un de la France et l'autre de l'Allemagne.

¹⁹⁷ Frost, N. (2020, 3 janvier). The 1997 merger that paved the way for the Boeing 737 Max crisis. *Yahoo Finance*. <https://finance.yahoo.com/news/1997-merger-paved-way-boeing-090042193.html>

En 1993, Boeing et les entreprises qui composaient le consortium d'Airbus ont lancé une étude conjointe pour vérifier la faisabilité d'un partenariat pour le développement d'un très grand avion de transport commercial (VLCT en anglais), mais cette étude a été abandonnée en 1995 en raison de la constatation de faible demande qui rendrait impossible la récupération du coût de développement prévu à US\$ 15 milliards pour la conception de ce type d'avion.¹⁹⁸

Cette étude démontrait déjà que la viabilité de l'A380 était douteuse, puisqu'un changement dans le transport aérien des grands hubs vers les routes « point à point » était en cours et avec le lancement du Boeing 777 en 1995, ce processus s'est accéléré. Face à cette perspective défavorable, Airbus a poursuivi le développement de l'A380.

En juin 1994, Airbus a annoncé que les études initiales de son nouveau modèle seraient poursuivies et a nommé le projet A3XX. Avec l'évolution des études en 1997, la société a annoncé que l'avion aurait deux étages et qu'il promouvrait une réduction de 15 à 20 % des coûts d'exploitation par rapport à la 747-400. Le 10 juin 2000, Airbus Industrie GIE est devenu EADS (European Aeronautic Defense and Space Company), par la fusion des consortiums français, espagnols et allemands. Pour fermer avec une clé d'or la célébration de la fusion, l'Airbus a annoncé le 19 décembre 2000 que le conseil d'administration de EADS a donné le feu vert pour la fabrication de son nouvel avion qui a été nommé A380. L'entreprise a estimé que le programme coûterait US\$ 10,7 milliards. Selon les prévisions, le marché des avions de plus de 400 sièges serait de 1 200 appareils d'ici la fin de 2015. Lors du lancement du projet, Airbus a indiqué que l'A380 comptait 50 commandes fermes de 6 compagnies aériennes (Air France, Emirates Airlines, Qantas Airlines, Singapore Airlines, Virgin Atlantic et International Lease Finance

¹⁹⁸ Reuters (1995, 10 juillet). Boeing, Partners Expected to Scrap Super-Jet Study. *Los Angeles Times*. <https://www.latimes.com/archives/la-xpm-1995-07-10-fi-22333-story.html>

Corporation).¹⁹⁹ Singapore Airlines serait la compagnie de lancement de l'avion en mars 2006 et le premier vol d'essai était prévu pour mars 2005.

En 2001, la configuration de l'avion a été finalisée. En 2004, Airbus a estimé qu'il serait nécessaire d'inclure US\$ 2 milliards pour le développement de l'avion en raison du travail non budgétisés pour réduire son poids et améliorer son efficacité.²⁰⁰

Pour démarrer le programme A380, Airbus a reçu en 2000 un prêt de € 3,5 milliards des gouvernements d'allemand, français et britannique. En 2018, l'OMC (Organisation mondiale du commerce) a estimé que le projet A380 avait reçu des subventions indues de la part des pays européens.²⁰¹ L'OMC a déterminé la fin de ces subventions, mais comme l'Union Européenne n'a pas respecté l'ordonnance de mettre fin à ces subventions en décembre 2019, le gouvernement américain a imposé des droits de douane d'US\$ 7,5 milliards pour les marchandises achetées à l'Union Européenne.²⁰²

Pour construire l'A380, Airbus a utilisé la structure des sociétés du consortium et a déterminé que les plus grandes sections seraient fabriquées en France, en Espagne, en Allemagne et au Royaume-Uni. La figure 35 montre où sont construites les principales sections structurelles de l'avion.

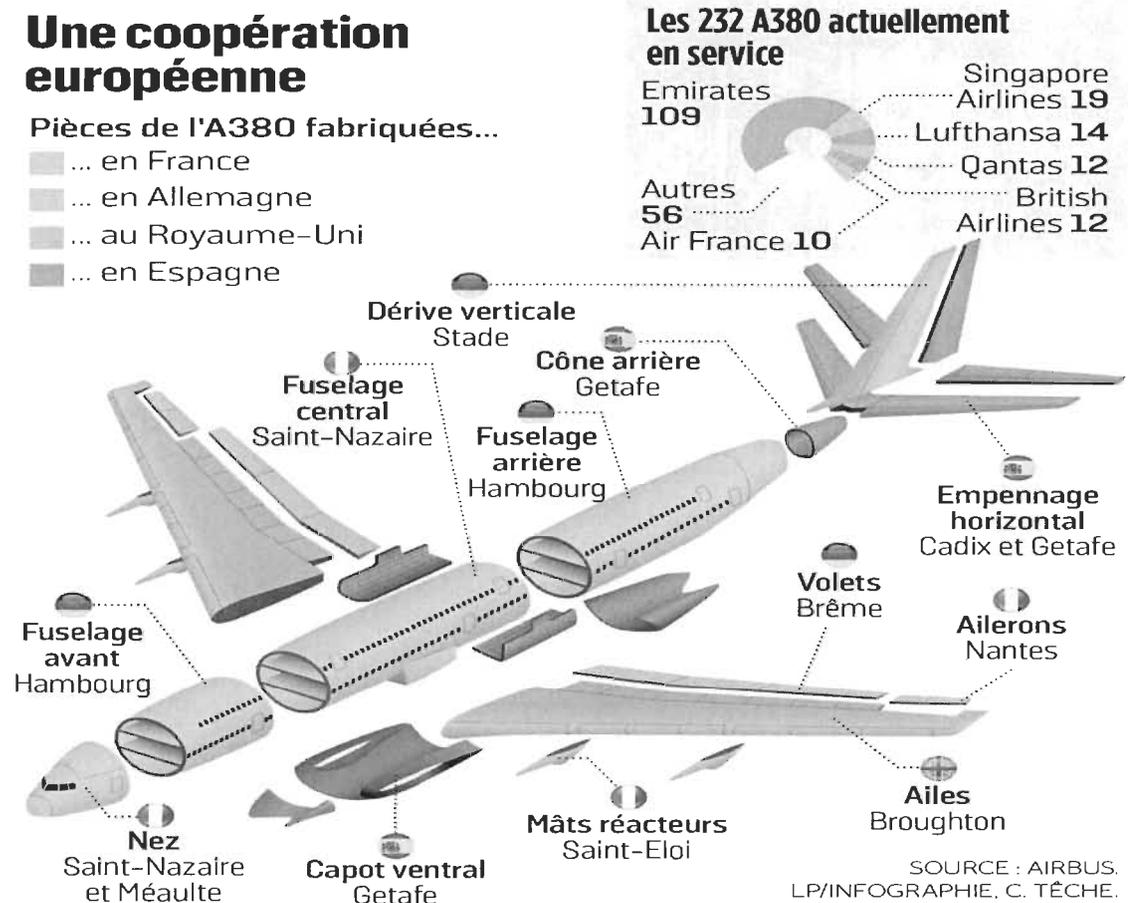
¹⁹⁹ Staff CNN (2000, 19 décembre). Airbus jumbo on runway. *CNN Money*. <https://money.cnn.com/2000/12/19/europe/airbus/>

²⁰⁰ Gauthier-Villars, D., Brian, P. et Michaels, D. (2004, 16 décembre). Airbus Discloses Cost Overruns On Big A380 Jet. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/SB110313731538101053>

²⁰¹ Katz, B. (2018, 23 février). Airbus Super-Jumbo Sheds Financial Weight in New State Aid Deal. *Bloomberg*. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-23/airbus-sheds-1-4-billion-owed-to-countries-in-new-a380-aid-deal>

²⁰² Goldstein, M. (2020, 9 mars). Airbus A380 Value Continues To Crash With Move To Smaller Planes. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/michaelgoldstein/2020/03/09/airbus-a380-value-continues-to-plummet/?sh=5a586ba0489c>

Figure 35 - Structure de construction des sections structurelles de l'Airbus A380

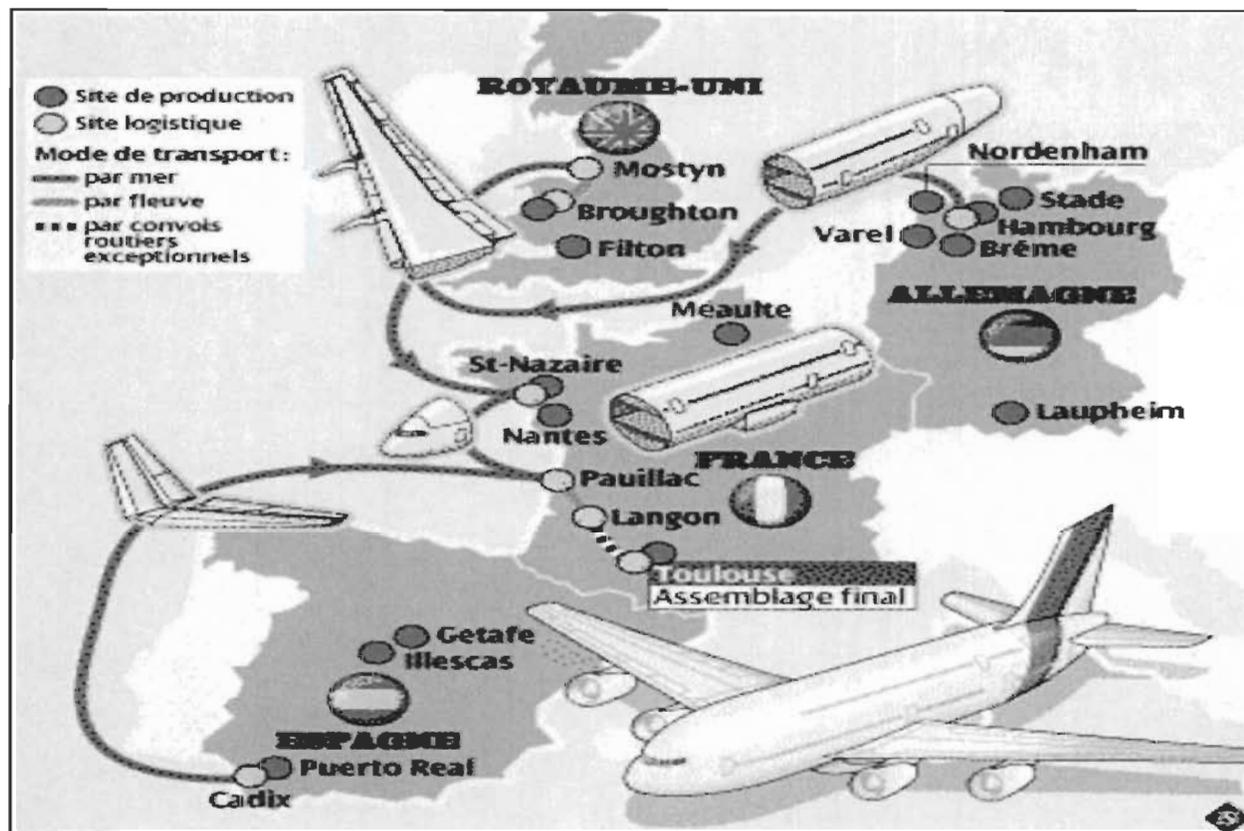


En raison de la taille des sections, les méthodes de transport traditionnelles étaient irréalistes, Airbus a mis en place un réseau logistique complexe qui impliquait le transport de sections par voie aérienne (Airbus A300-600 ST, plus connu sous le nom de Béluga), voie navigable, et terrestre, où les navires, les barges et les camions ont été adaptés ou développés pour permettre le transport. Il était nécessaire d'investir dans les installations portuaires et les routes pour accueillir le transport.²⁰³

²⁰³ Morales, J. (2006). *The A380 Transport Project and Logistics*. https://www.aviation.tu-darmstadt.de/media/arbeitskreis_luftverkehr/downloads_6/kolloquien/13kolloquium/05druckvorlage_morales.pdf

L'assemblage final de l'avion a lieu à Toulouse dans le sud de la France. La figure 36 montre la séquence logistique géographique de l'A380.

Figure 36 - Séquence logistique géographique de l'A380



Source : Marine inconnue

L'A380 a 3 millions de pièces qui sont construites en 6 sections principales. Bien qu'il s'agisse d'un projet européen, l'avion est assemblé avec des composants de 77 pays (voir figure 37), démontrant ainsi que l'externalisation et la mise en place de partenariats sont des éléments clés dans les projets aéronautiques.

Figure 37 - Chaîne d'approvisionnement Airbus A380



Source : Pinterest

Pour le processus de certification de l'A380, Airbus a programmé l'utilisation de 5 avions et 2 500 heures de vol.²⁰⁴ Les compagnies aériennes auraient l'option de 2 fabricants de moteurs le modèle Trent 900 de Rolls-Royce et le GP7200 de Engine Alliance (coentreprise entre General Electric et Pratt & Whitney).

3.4.1 Premier retard

Contrairement aux autres projets d'aéronefs visés par cette étude, l'A380 n'a pas présenté de retard dans la réalisation du premier essai en vol. Le 27 avril 2005, l'avion a

²⁰⁴ Kingsley-Jones, M. (2005, 19 décembre). A380 powers on through flight-test. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/a380-powers-on-through-flight-test/64576.article>

décollé de Toulouse et a effectué son premier vol.²⁰⁵ Ce succès apparent ne reflétait pas la situation réelle dans laquelle se trouvait le projet. Comme nous le verrons ci-dessous, l'avion a énormément souffert du problème de l'installation de câbles électriques et, ne peut effectuer son premier vol d'essai que parce que les problèmes de câblage non résolu concernaient la section vide du fuselage de l'avion et non les systèmes hydrauliques et du poste de pilotage essentiel, ce qui a permis d'aller de l'avant avec les premiers vols d'essai.

Les premiers signes indiquant que le projet de l'A380 présentait des difficultés à respecter le calendrier du projet ont été constatés à l'été 2004, lorsque de larges sections du fuselage avant et arrière de l'avion provenant de l'unité de production de Hambourg sont arrivées à Toulouse inachevées. À la fin de l'automne 2004, une équipe de 200 employés de Hambourg s'est rendue à Toulouse pour installer des centaines de kilomètres de câbles électriques sur les premiers avions assemblés. Cependant, après des semaines de travail méticuleux, les équipes ont constaté que les câbles étaient trop courts.²⁰⁶

Comme mentionné à la page 168, le projet A380 a été divisé entre les 4 pays fondateurs d'Airbus (Espagne, Royaume-Uni, Allemagne et France). La conception de l'avion a impliqué 16 centres de développement répartis dans les 4 pays. Pour créer les conceptions structurelles, mécaniques et électriques, un logiciel CAD (Computer Aided Design – Conception assisté pour ordinateur), appelé CATIA, développé par la société française Dassault Systèmes, a été utilisé. Les Espagnols et les Allemands ont utilisé la version 4, tandis que les designers français et anglais ont utilisé la version 5 du logiciel. Tom Williams, qui était le chef des achats pour l'A380 a déclaré : « Un des problèmes était que l'outil informatique de CATIA utilisé dans la conception numérique de l'avion n'était pas suffisamment précis lorsqu'il s'agissait de concevoir des systèmes

²⁰⁵ Frost, L. (2005, 27 avril). Airbus A380 makes aviation history with its maiden flight. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/airbus-a380-makes-aviation-history-with-its-maiden-flight/>

²⁰⁶ Clark, N. (2006b, 14 décembre). A Humbled Airbus Learns Hard Lessons. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2006/12/14/business/worldbusiness/14cnd-airbus.html>

électriques. » « Le problème a été aggravé par le passage d'Airbus au câblage en aluminium lorsque le modèle a été conçu pour le câblage en cuivre, qui a des propriétés physiques très différentes », il a déclaré.²⁰⁷

Dans le reportage du journaliste Nicola Clark du New York Times, le rapport d'un mécanicien allemand qui ne peut s'identifier à la peur de la répression, montre clairement le problème auquel il est confronté : « Le câblage ne suivait pas le tracé prévu dans le fuselage, donc quand nous sommes arrivés à la fin, ils n'ont pas été assez longs pour rencontrer les connecteurs sur la section suivante », a déclaré le mécanicien allemand. « Les calculs étaient faux », a-t-il dit. « Tout devait être arraché et remplacé à partir de zéro. » Donc, selon le New York Times, le problème n'est pas la taille des câbles, cette information est confirmée par un autre reportage du Globe and Mail qui décrit que les employés qui ont installé les câbles signalés que les supports où les fils devaient être fixés étaient dans les endroits où ils ne devaient pas être et il y avait des murs où il devrait y avoir une voie libre pour le passage des câbles.²⁰⁸ Par conséquent, nous pouvons voir qu'il n'y avait pas de bon contrôle de configuration de base de données et que certaines modifications de conception apportées n'ont pas été correctement communiquées entre les unités et sont restées inconnues jusqu'à ce que l'installation des câbles se produise.

Le pire est que le problème a été correctement signalé par les gestionnaires de la chaîne d'assemblage de l'A380, mais ils n'ont pas été considérés comme un problème important qui aurait dû être signalé à la haute direction d'Airbus. Ainsi, le problème a été ignoré et s'est cumulé, jusqu'à ce que le 1er juin 2005 Airbus annonce qu'il y aurait un retard de 6 mois dans la livraison du premier avion. Le retard a été attribué à des problèmes de câblage pour le système de divertissement des passagers, la complexité dans la

²⁰⁷ Gates, D. (2006, 30 juillet). Disaster Stories, Part 3. *WorldCAD Access*. https://worldcadaccess.typepad.com/blog/2006/07/disaster_storie_2.html

²⁰⁸ Jang, B. (2006, 22 juillet). Airbus: Crossed wires. *The Globe and Mail*. <https://www.theglobeandmail.com/report-on-business/airbus-crossed-wires/article20415306/>

conception des différents intérieurs de cabine de chaque compagnie aérienne a demandé et à des problèmes de surpoids des structures de l'avion.

Comment un problème de taille de câble était responsable d'un retard de 2 ans dans le projet ? Tout d'abord, nous allons aux données, l'A380 est équipé de 100 000 fils différents, qui utilisent 40 300 connecteurs et totalisent 530 kilomètres de longueur et effectuer 1 150 fonctions distinctes,²⁰⁹ cela démontre toute la complexité et les fonctions vitales que les câbles représentent dans l'avion.

En raison du premier retard, Airbus a admis que le point d'équilibre de l'A380 est passé de 250 à 300 appareils.²¹⁰

3.4.2 Deuxième retard

Le 13 juin 2006, Airbus a annoncé le deuxième retard, la livraison du premier aéronef subirait un nouveau retard de 7 mois. La raison invoquée par EADS était qu'il y avait des « problèmes d'augmentation de la production ». La direction de l'entreprise a estimé que ce nouveau retard se traduirait par une perte annuelle de bénéfice avant intérêts et impôts d'environ € 500 millions de 2007 à 2010.²¹¹

Le deuxième retard de l'A380 a entraîné une baisse de 26 % de la valeur des actions de EADS, la société a annoncé le 2 juillet 2006 que Gustav Humbert (PDG d'Airbus) et Noël Forgeard (PDG de EADS) avaient renoncé. À la même date a été annoncé le nouveau PDG d'Airbus, Christian Streiff, qui a rapidement identifié les défaillances organisationnelles dans l'entreprise. Selon Streiff : « Airbus n'est pas encore

²⁰⁹ Admin (2006, 11 avril). Airbus – A380. Why Projects Fail? <http://calleam.com/WTPF/?p=4700>

²¹⁰ Bloomberg News, (2005, 2 juin). Problems to delay 1st deliveries of Airbus A380 up to 6 months. *Chicago Tribune*. <https://www.chicagotribune.com/news/ct-xpm-2005-06-02-0506020204-story.html>

²¹¹ Crane, M. (2006, 14 juin). Major Turbulence For EADS On A380 Delay. *Forbes*. <https://www.forbes.com/2006/06/14/airbus-eads-boeing-614markets12.html?sh=27fb53a51d2a>

une entreprise intégrée », a déclare-lui. « Airbus n'a pas encore une organisation simple et claire. « Il y a des hiérarchies d'ombre – des restes de l'intégration jamais terminée. »²¹²

Un autre aspect négatif pour Airbus en raison du deuxième retard a été que plusieurs compagnies aériennes qui avaient des commandes fermes de l'A380 ont demandé des compensations pour le retard et Singapore Airlines a même annoncé l'achat de 20 avions 787-9 d'une valeur d'US\$ 4,52 milliards.²¹³

Le 12 décembre 2006, l'A380 équipé des moteurs Trent 900 a été certifié par l'AESA et la FAA, après 2 600 heures de vol et 800 vols d'essai. Pour prouver la compatibilité avec les aéroports et un moyen de divulguer le produit, l'avion a visité 38 aéroports à travers le monde.²¹⁴

3.4.3 Troisième retard

Le 3 octobre 2006, Airbus a annoncé le troisième et dernier retard de l'A380. Selon le nouveau calendrier, le premier avion sera livré en octobre 2007. La raison alléguée du retard était qu'il y avait une sous-estimation de la quantité de travail à effectuer pour l'achèvement de l'installation des harnais électriques (câbles) dans les sections avant et arrière de l'avion. En plus de la complexité de l'installation des câbles, l'entreprise a affirmé que les employés impliqués dans le projet d'installation du harnais apprenaient (courbe d'apprentissage) à manipuler le nouveau logiciel utilisé pour faciliter

²¹² Clark, N. (2006b, 14 décembre). A Humbled Airbus Learns Hard Lessons. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2006/12/14/business/worldbusiness/14cnd-airbus.html>

²¹³ Ionides, N. (2006, 14 juin). Singapore Airlines to order 20 Boeing 787-9s in latest blow to Airbus's A350 campaign. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/singapore-airlines-to-order-20-boeing-787-9s-in-latest-blow-to-airbuss-a350-campaign/67926.article>

²¹⁴ Airbus Press Release (2006b, 21 décembre). Qantas signs firm order for eight additional A380s. *Airbus*. <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2006/12/qantas-signs-firm-order-for-eight-additional-a380s.html>

l'installation, la 3D Digital Mock up.²¹⁵ Le troisième retard a provoqué de nouvelles mises à pied dans la haute direction de la compagnie. Le 4 septembre 2006, Airbus a annoncé que le directeur des opérations de l'A380, Charles Champion, serait remplacé par Mario Heinen²¹⁶ et, après l'annonce du troisième retard, Christian Streiff a annoncé sa démission, sous prétexte qu'il ne parvenait pas à mettre en œuvre les changements nécessaires pour résoudre les problèmes d'Airbus.

Mario Heinen a été à la tête du programme d'avions monoplace (famille A320) où il a été l'un des principaux collaborateurs qui ont planifié et mis en œuvre une série de nouvelles procédures et améliorations qui ont permis l'augmentation de la production de l'A320. Dès qu'il a repris le programme A380, Heinen a mis en place une nouvelle culture pour faire face aux problèmes qui affligent le projet, en octobre 2006, il a déclaré : « Nous nous sommes retrouvés dans un cercle vicieux où il n'y avait apparemment aucune issue. »²¹⁷

Le troisième retard a provoqué une nouvelle augmentation du seuil de rentabilité de l'avion, qui passe maintenant à 420 unités.²¹⁸

Le 15 octobre 2007, Airbus a livré son premier A380 à Singapore Airlines, Chew C. Seng, PDG de la société, a déclaré : « À partir d'aujourd'hui, il y a une nouvelle reine des cieux pour les voyages aériens ... Le 747 est un bon avion, mais il n'a pas un tout nouveau design. C'est l'avion d'aujourd'hui et de demain. »²¹⁹ Le 25 octobre 2007,

²¹⁵ Airbus Press Release (2006a, 03 octobre). Airbus confirms further A380 delay and launches company restructuring plan. *Airbus*. <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2006/10/airbus-confirms-further-a380-delay-and-launches-company-restructuring-plan.html>

²¹⁶ Clark, N. (2006a, 4 septembre). Airbus remplace le chef du projet jumbo jet - Business - International Herald Tribune. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2006/09/04/business/worldbusiness/04iht-airbus.2693593.html>

²¹⁷ Clark, N. (2006b, 14 décembre). A Humbled Airbus Learns Hard Lessons. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2006/12/14/business/worldbusiness/14cnd-airbus.html>

²¹⁸ Staff BBC (2006, 30 octobre). Q&A: A380 delays. *BBC News*. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/5405524.stm>

²¹⁹ Done, K. (2007, 16 octobre). Singapore Airlines prend livraison du premier A380. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/114da1d8-7b1e-11dc-8c53-0000779fd2ac>

l'A380 a effectué son premier vol commercial entre Singapour et Sydney.²²⁰ Singapore Airlines a indiqué qu'en termes de siège/mile, l'A380 brûle 20 % moins de carburant en moins par rapport aux 747-400.²²¹

Le 14 décembre 2007, l'EASA a certifié l'A380 équipé du moteur de Engine Alliance.

3.4.4 Problèmes postérieurs à la livraison

Le 4 novembre 2010, un A380 de la compagnie aérienne Qantas qui volait de Londres à Sydney, via Singapour, a subi une panne sans retenue dans l de ses moteurs 4 minutes après le décollage de l'aéroport de Singapour. La panne du moteur a émis des éclats qui ont perforé une partie de l'aile, causant une fuite de carburant et un incendie dans le moteur, en plus d'affecter le système hydraulique et surchargé l'équipage avec des procédures d'urgence et de la préparation à l'atterrissage d'urgence en raison de l'incident. Heureusement, sur ce vol il y avait un équipage de formation qui a permis le travail conjoint pour contourner la situation.²²² Qantas a décidé d'atterrir ses six A380 jusqu'à ce que la cause de l'accident soit découverte.

L'incident a fait l'objet d'une enquête menée par Australian Transport Safety Bureau (ATSB), qui a conclu qu'un certain nombre de tuyaux de vidange d'huile avaient été fabriqués avec des sections de parois très minces et n'étaient pas conformes aux

²²⁰ Beresnevicius, R. (2019a, 26 avril). On this day: First Flight Of The Airbus A380. *Aerotime Hub*. <https://www.aerotime.aero/rytis.beresnevicius/22852-airbus-a380-first-flight>

²²¹ Buyck, C. (2007, 13 décembre). SIA's Chew: A380 pleases, Virgin Atlantic disappoints. *ATW Daily News*.

<https://web.archive.org/web/20071215175343/http://www.atwonline.com/news/story.html?storyID=11132>

²²² Jonas, G. (2010, 20 novembre). Qanta's close all. *National Post*. <https://www.pressreader.com/canada/national-post-latest-edition/20101120/289201624006606>

spécifications de conception. L'agence australienne a émis un ordre de révision de ces pièces et si elles étaient en dehors des spécifications, elles seraient remplacées.²²³

Le 20 janvier 2012, l'AESA a publié une directive de navigabilité exigeant une inspection visuelle immédiate et détaillée des ailes de 20 Airbus A380. Lors de la restauration de l'A380 qui a subi l'incident à Singapour, l'équipe de réparation de Qantas et Airbus a découvert des microfissures dans les ailes de l'avion.²²⁴

Le 8 février 2012, l'AESA a étendu l'inspection à tous les A380 en service. Selon l'AESA lors de la vérification des 20 premiers avions a été découverte une nouvelle forme de fissure dans les ailes qui, si elle n'est pas détectée et corrigée, peut conduire à une réduction de l'intégrité structurelle de l'avion.²²⁵ Les réparations ont coûté € 250 millions à Airbus.²²⁶ La cause des fissures a été attribuée à une défaillance structurelle du projet et en 2014, Airbus a remplacé le matériau utilisé dans la fabrication des ailes.

Un autre problème présenté par l'A380 était celui des portes de l'avion. Il y a eu plusieurs incidents (Emirates Airlines et Singapore Airlines). Emirates s'est plaint que certaines portes de l'A380 vibraient et faisaient des bruits. Airbus et l'AESA ont enquêté sur le problème et ont indiqué que 10 % des avions manufacturés devraient être remplacés.²²⁷

²²³ ATSB (2013). In-flight uncontained engine failure Airbus A380-842, VH-OQA, overhead Batam Island, Indonesia, 4 November 2010. *ATSB*. https://www.atsb.gov.au/publications/investigation_reports/2010/AAIR/AO-2010-089.aspx

²²⁴ Hradecky, S. (2012, 20 janvier). Airworthiness Directive regarding Airbus A380 wing cracks. *The Aviation Herald*. <http://avherald.com/h?article=44992a89&opt=0>

²²⁵ Staff BBC (2012a, 8 février). Airbus to inspect all A380 superjumbos for wing cracks. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/business-16942361>

²²⁶ Staff BBC (2012b, 11 juin). Airbus A380 wing repairs could take up to eight weeks. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/business-18397398>

²²⁷ Staff NRD (2014, 18 juin). "Hamburg Journal": erhebliche Probleme mit Türen des Airbus A380. *NRD*. https://www.ndr.de/der_ndr/presse/mitteilungen/Hamburg-Journal-erhebliche-Probleme-mit-Tueren-des-Airbus-A380,pressemeldungndr14366.html

Le 30 septembre 2017, un A380 équipé du moteur Engine Alliance qui volait de Paris à Los Angeles, a été contraint d'effectuer un atterrissage d'urgence à Goose Bay au Canada, en raison d'une panne non contenue dans le moteur 4 de l'avion. Le 12 octobre 2017, la FAA a lancé une ligne directrice de navigabilité d'urgence, déterminant une enquête pour déterminer la cause de la défaillance. Le BEA (Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile) a mené les études conjointement avec la NTSB (États-Unis), la TSB (Transportation Safety Board of Canada) et la Danish Transport, Building and Construction Authority (Danemark). Le 25 septembre 2020, le BEA a publié le rapport final indiquant que le ventilateur s'est séparé du moteur heurtant le carénage du moteur qui s'est détaché en plusieurs morceaux. La cause de l'accident était due à un phénomène de fatigue d'arrêt à froid qui a mené au développement et à la progression d'une fissure dans la sous-surface de la partie inférieure de la rainure d'une lame. Ni le fabricant ni les autorités de certification n'avaient prévu ce phénomène.²²⁸

3.4.5 Analyse des retards du Airbus A380

L'ensemble du programme aurait coûté US\$ 25 milliards²²⁹ et a fait l'objet d'une controverse au sujet des subventions irrégulières des gouvernements français et allemand. Depuis son lancement, l'A380 a atteint un total de 394 commandes fermes, mais 143 ont été annulées, soit un indice de 36,29 %.

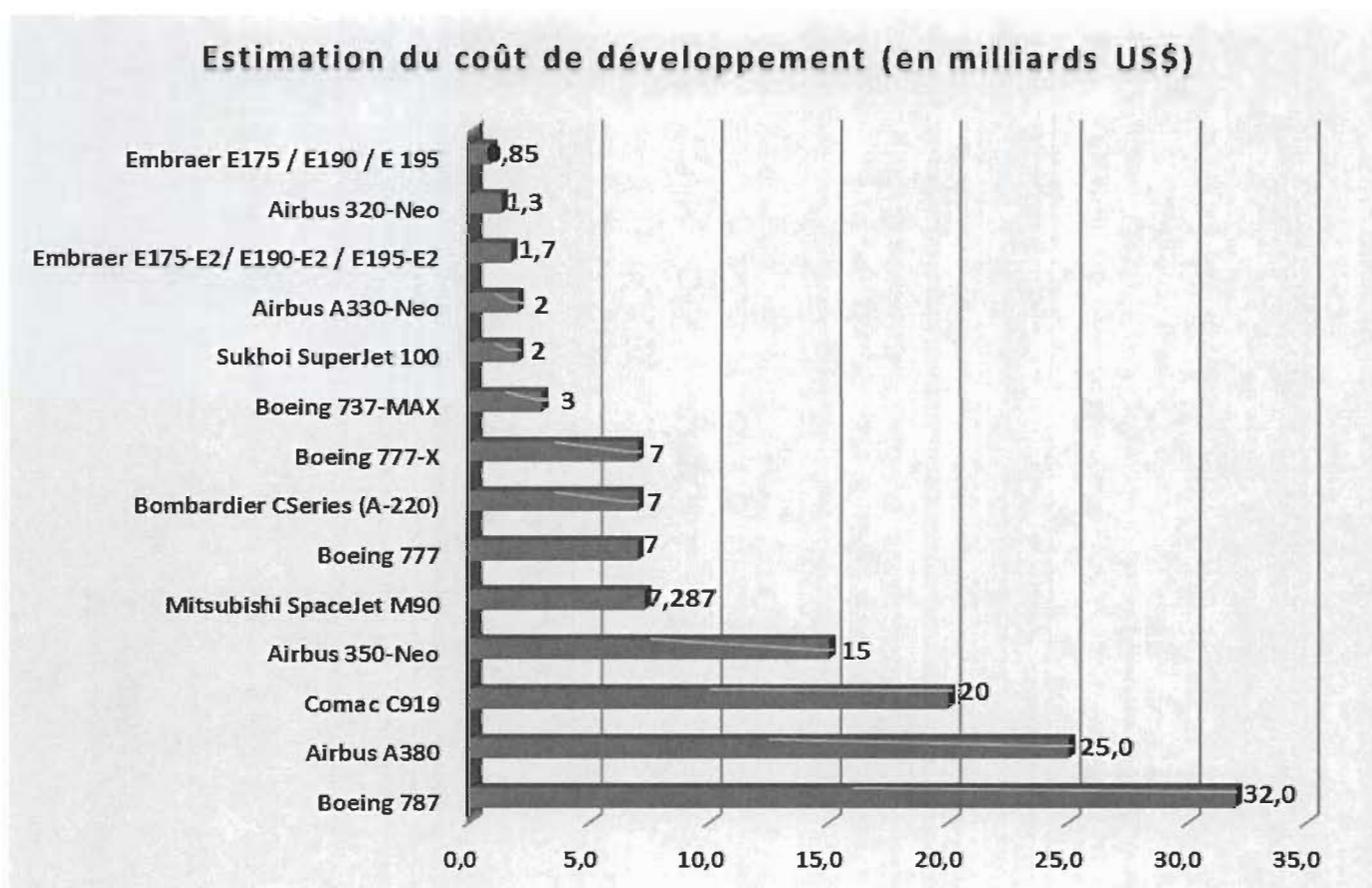
Avec un coût d'US\$ 25 milliards, l'A380 prend la deuxième position de l'avion le plus cher à être développé, seulement en dessous du 787, soulignant que Comac ne divulgue pas de rapports financiers, il n'y a aucun moyen de vérifier les montants qui ont été dépensés jusqu'à présent pour le développement du C919, mais sur la base

²²⁸ BEA (2020, 27 septembre). Investigation Report: Accident to the AIRBUS A380-861 equipped with Engine Alliance GP7270 engines registered F-HPJE operated by Air France on 30 September 2017 in cruise over Greenland (Denmark). *BEA*. https://www.bea.aero/uploads/tx_elydbrapports/BEA2017-0568.en.pdf

²²⁹ Goldstein, M. (2020, 9 mars). Airbus A380 Value Continues To Crash With Move To Smaller Planes. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/michaelgoldstein/2020/03/09/airbus-a380-value-continues-to-plummet/?sh=5a586ba0489c>

d'informations que le gouvernement chinois a investi US\$ 45 milliards²³⁰ pour développer l'industrie aéronautique chinoise (montant investi dans la Comac), il ne serait pas surprenant que dans le développement du C919, un investissement de plus d'US\$ 30 milliards ait déjà eu lieu.

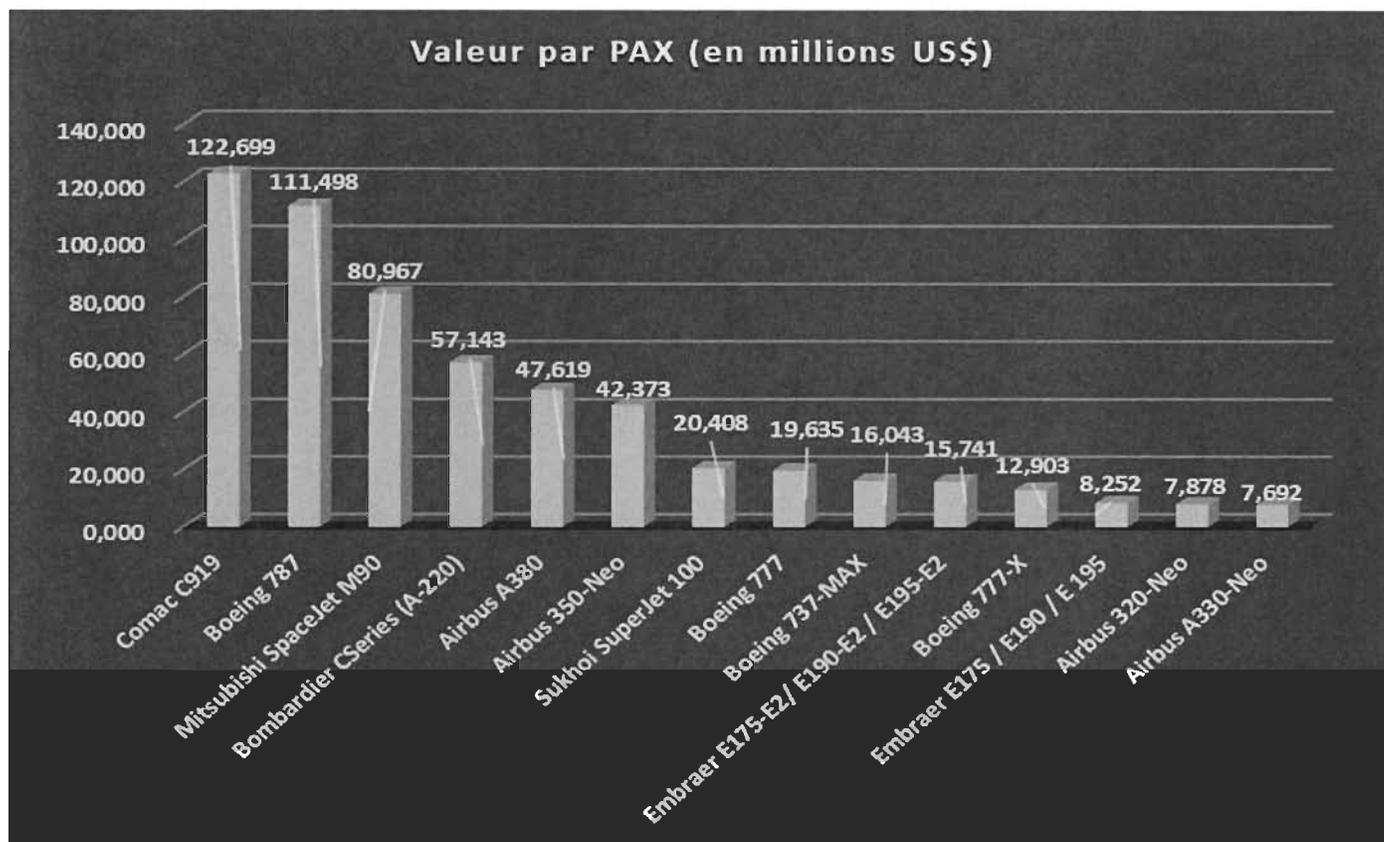
Figure 38 - Estimation du coût du développement des avions (considérant le coût réel du A380)



Avec ce coût, l'A380 dépasse le A350-Neo ayant le cinquième coût le plus élevé de développement par PAX dans l'industrie aéronautique, comme le montre la figure 39.

²³⁰ Lee, A. (2020, 10 décembre). China's C919 commercial jet aspirations are overblown and no threat to Boeing or Airbus, Washington think tank finds. *South China Morning Post*. <https://www.scmp.com/economy/china-economy/article/3113209/chinas-commercial-plane-aspirations-are-overblown-and-no>

Figure 39 - Estimation du coût de développement par PAX (considérant le coût réel du A380)

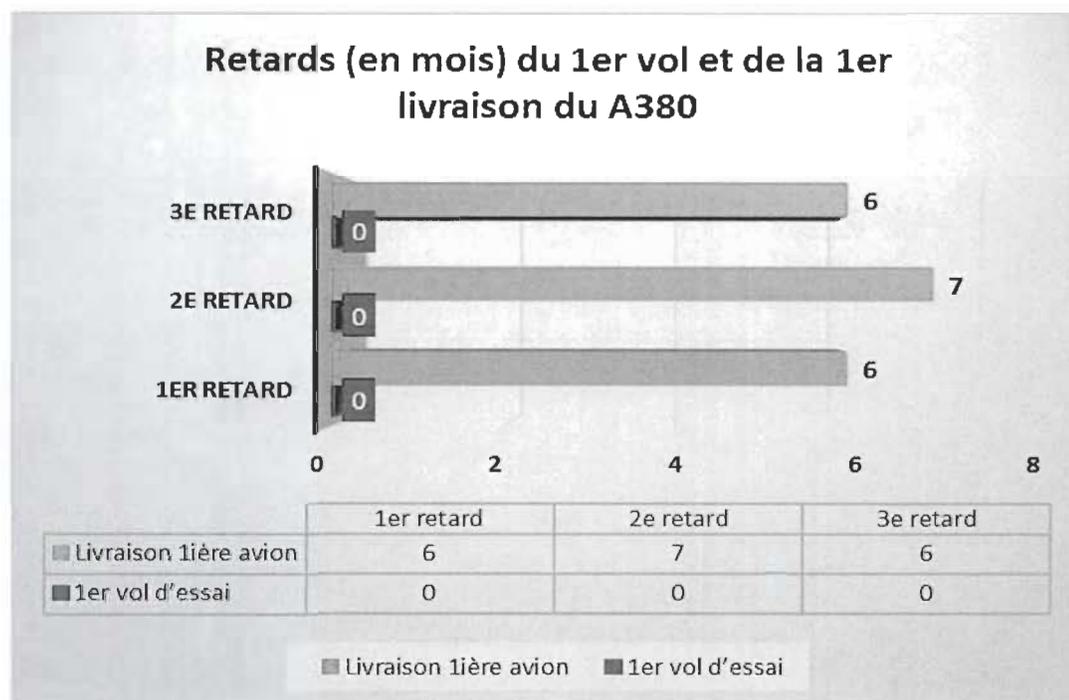


L'A380 a présenté trois retards totalisant 19 mois (1,58 an) pour la livraison du premier avion, ce retard est représenté dans le tableau 14 et dans la figure 40.

Tableau 14 - Retard dans la livraison du premier A380

Retard	Annonce	Date prévue pour la livraison du 1er avion	Nouvelle livraison 1er avion	Délai entre le 1er vol et la livraison
1er	Juin/2005	Mar/2006	Sep/2006	6 mois
2e	Juin/2006	Sep/2006	Apr/2007	7 mois
3e	Oct/2006	Apr/2007	Oct/2007	6 mois

Figure 40 - Retards de la première livraison d'aéronefs de l'A380



En raison de l'absence de nouvelles commandes en février 2019, Airbus a signalé que la production de l'A380 prendrait fin en 2021.²³¹

Le tableau 15 montre toutes les commandes (fermées et options) que l'A380 a reçues depuis son lancement dans ses deux modèles prévus A380 (transport de passagers) et A380F (cargo).

²³¹ Mullen, J. et Riley, C. (2019, 14 février). *CNN Business*. <https://www.cnn.com/2019/02/14/business/a380-airbus-news-emirates/index.html>

Tableau 15 - Portefeuille de commandes Airbus A380

	Commandes Fermes		Option		Fermes Annulée		Option Annulée		Pays
	A380	A380F	A380	A380F	A380	A380F	A380	A380F	
Emirates Airlines	162		16		39		16		Émirats Arabes Unis
Air France	12		2		2		2		France
ILFC	5	5	4		5	5	4		États-Unis
Singapore Airlines	24		1				1		Singapour
Qantas	23		18		11		18		Australie
Virgin Atlantic	6		6		6		6		Royaume-Uni
FedEx		10		10		10		10	États-Unis
Qatar Airways	10		3				2		Qatar
Lufhansa	17		3		3		3		Allemagne
Malaysia Airlines	6								Malaisie
Korean Airlines	10								Corée du Sud
Etihad Airways	14		5		4		5		Émirats Arabes Unis
Thai Airways	6								Thaïlande
UPS		10		10		10		10	États-Unis
China Southern Airlines	5								Chine
Kingfisher Airlines	5		5		5		5		Inde
British Airways	12		7				7		Royaume-Uni
Kingdom Holding Company	1				1				Arabie Saoudite
Air Austral	2				2				France
Skymark Airlines	6		2		6		2		Japon
Asiana Airlines	6		4				4		Corée du Sud
Hong Kong Airlines	10		10		10		10		Hong Kong
Transaero Airlines	4		4		4		4		Russie
Amedeo	20				20				Irlande
All Nippon Airways	3								Japon
Total	369	25	90	20	118	25	89	20	
	394		110		143		109		

Lorsque nous avons analysé les commandes d'A380, nous avons constaté qu'il n'y avait pas une seule commande des compagnies aériennes américaines et même en Europe, seules trois compagnies aériennes ont acheté l'avion (il y en avait quatre, mais Virgin Atlantic a annulé la commande). Sur le marché asiatique, une seule compagnie aérienne japonaise et chinoise (qui est les deux plus grands marchés d'Asie) a commandé l'avion. Les plus gros clients étaient les compagnies aériennes du Moyen-Orient. Sur les 394 commandes fermées, l'A380 a fabriqué 243 appareils. À titre de comparaison, le 747 tout

au long de son histoire a remporté 1 557 avions fabriqués, témoignant d'échec de l'A380 vis-à-vis de son rival.

Dans les années 1990, la demande pour le 747 avait diminué, étant loin de l'ère de pointe des années 1970. L'avion était trop grand et coûteux pour fonctionner de manière profitable toute l'année, à l'exception d'une poignée de routes internationales. Les transporteurs américains, dont aucun n'envisageait sérieusement d'acheter l'A380, ont commencé à retirer le 747 et leurs rivaux mineurs, les Lockheed L1011 et le McDonnell Douglas DC-10/MD-11, des opérations domestique au début des années 1990. La grande capacité de ces aéronefs et le marché concurrentiel axé sur les bas tarifs, stimulé par la déréglementation dans ce pays, ont fait perdre automatiquement de l'argent à ces gros avions sur les vols intérieurs. Et même à l'échelle internationale, le 747 s'est avéré être un producteur de profit incohérent.²³²

Ce changement sur le marché américain de l'aviation vers le 747 a été complètement ignoré par Airbus. Et comme chaque changement favorise la modification dans les demandes (habitudes et comportements) une enquête de 2005 a révélé qu'aux États-Unis, 75 % des passagers ont tendance à voler à travers seulement 29 aéroports, mais 98 % des Américains vivent moins de 40 kilomètres d'un petit aéroport local. Au lieu de voler entre les grands aéroports « hubs », qui agissent comme des points d'alimentation pour les plus petits aéroports, les passagers préfèrent voyager directement entre les villes (point à point) plutôt que de passer par un hub.²³³

²³² Reed, D. (2019, 15 février). The Plane That Never Should Have Been Built: The A380 Was Designed For Failure. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/danielreed/2019/02/15/the-plane-that-never-should-have-been-built-the-a380-was-designed-for-marketplace-failure/?sh=7aa4c2a63c59>

²³³ Marks, P. (2005, 29 juin). Aviation – The shape of wings to come. *NewScientist*. <https://www.newscientist.com/article/dn7552-aviation-the-shape-of-wings-to-come/?ignored=irrelevant>

Le tableau 16 montre la répartition géographique des compagnies aériennes qui ont acheté l'A380, ainsi que le nombre d'avions qui ont été retirés, démontés ou qui ont atterri sans retour prévu des opérations.

Tableau 16 - A380 livré par zone géographique et nombre d'appareils retirés

	Commandes fermes		Livraisons	Retraite	Stockage à long terme	Démanteler
	Quantité	%				
Air France	10	3,98%	10	10		
British Airways	12	4,78%	12			
Lufthansa	14	5,58%	14	6	7	
Subtotal Europe	36	14,34%				
All Nippon Airways	3	1,20%	3			
Asiana Airlines	6	2,39%	6			
China Southern Airlines	5	1,99%	5			
Korean Air	10	3,98%	10			
Malaysia Airlines	6	2,39%	6			
Singapore Airlines	24	9,56%	24	5	3	4
Thai Airways International	6	2,39%	6			
Subtotal Asie	60	23,90%				
Emirates Airlines	123	49,00%	115	1		1
Etihad Airways	10	3,98%	10		1	
Qatar Airways	10	3,98%	10			
Subtotal Moyen-Orient	143	56,97%				
Qantas	12	4,78%	12		12	
Subtotal Océanie	12	4,78%				
	251		243	22	23	5

Le tableau 16 montre que les compagnies aériennes du Moyen-Orient ont acheté 56,97 % des A380 manufacturés et que Emirates représentait à elle seule près de 50 % de tous les A380 manufacturés. Cela montre que sans Emirates, le programme A380 aurait affiché un résultat de ventes extrêmement médiocre. Même s'il n'est même pas venu près d'estimer les unités qui seraient vendues, Airbus devrait remercier fortement Emirates pour l'issue de l'A380 n'étant pas pire.

Une autre donnée alarmante que l'on peut constater est le taux élevé d'avions à la retraite (22), stockés à long terme (23) et démantelés (5), qui totalisent 50 unités ou 20,58 %, sur les 243 fabriqués. Rappelant que le premier avion a commencé ses opérations en octobre 2007 et qu'il n'est pas naturel d'avoir un indice aussi élevé d'aéronefs retirés d'une flotte où l'âge moyen est de 7 ans, si tôt. Cet indice est dû à la difficulté que les compagnies aériennes ou les entreprises de crédit-bail sont en train de livrer leurs A380s à d'autres compagnies aériennes après la fin des contrats de leasing ou de l'espérance de vie de l'aéronef.

La difficulté du transfert est due à deux facteurs. Le premier facteur est le coût opérationnel élevé de l'avion. Un rapport de 2015 souligne que l'exploitation d'un A380 coûte entre US\$ 20 mille et 26 mille par heure, le 747 a un coût d'US\$ 24 mille à 27 mille. À titre de comparaison, le 777 a un coût d'exploitation d'environ US\$ 7 mille par heure. Les coûts comprennent l'amortissement, les intérêts, les frais et charges, le coût de l'équipage, l'assurance, le carburant et l'entretien des aéronefs. Ces chiffres expliquent pourquoi les compagnies aériennes optent pour des modèles wide-body bimoteurs dont les coûts d'exploitation sont inférieurs à ceux de 4 moteurs (A380 et 747) et pour une plus grande flexibilité dans la définition des itinéraires. Le deuxième facteur qui effraie les compagnies qui pourraient acheter les A380 est leur non-viabilité en tant qu'avion-cargo. Contrairement au 747, où une grande partie des avions commerciaux ont été transformés en cargos, l'A380 ne présente pas une bonne option pour le transport de fret. L'A380 aurait une capacité de transport de 150 tonnes d'une portée de 10 400 km. Le 747-8F peut voler avec 137,7 tonnes de fret d'une portée de 4 120 km. Bien qu'il ait une capacité de charge et une portée supérieure à celles du 747-8F, l'A380 a un poids vide de 86 tonnes supérieur à celle de son concurrent, de sorte que l'avion de Boeing a un coût d'exploitation inférieur d'environ 20 % et un coût de tonnage/mille inférieurs de 23 % à celui de l'A380.²³⁴

²³⁴ Cummins, N. (2019, 25 juin). The Airbus A380F – The Freighter Plane That Got Scrapped. *Simple Flying*. <https://simpleflying.com/airbus-a380-f/>

Avec la pandémie du Covid-19, plusieurs compagnies aériennes exploitant l'A380 ont annoncé des plans de retraite (Air France a retiré tous les A380), clouant au sol ou démantelant des parties de leur flotte. Très probablement, la destination de l'A380 sera le stockage dans un cimetière d'avions ou son démantèlement pour les pièces de rechange. En septembre 2020, à l'exclusion des unités retirées, 204 unités de l'A380 ont été stationnées en raison de la faible demande (Tegler, 2020).

Nous soulignerons que le plus grand obstacle à l'A380 n'était pas sa qualité d'avion, mais le fait qu'il soit surdimensionné pour la réalité mondiale (demande d'avions plus performants et configuration de voyage point à point). Avec 243 unités à ce jour, l'A380 n'a eu que 37 unités fabriquées de plus que l'A340 et si les 8 unités restantes de commandes fermées sont fabriquées, l'A380 n'aura atteint qu'une unité construite de plus que le Lockheed L1011 Tristar.

L'un des rares points positifs pour Airbus est que l'A350 était effectivement un perfectionnement supplémentaire des systèmes de l'A380 et Airbus a donc pu se concentrer sur la maturité du système avant la livraison au lieu du débogage exhaustif de la fonctionnalité qui a affligé Boeing pour 787 et Airbus pour A380.²³⁵

Selon Reed (2019), l'A380 a d'abord été victime d'une grande fierté nationale (européenne) et d'une arrogance politique (les plus grands soutiens du projet étaient les gouvernements français et allemand) et de l'ego corporatif d'Airbus. Lors du lancement du programme, en 2000, les actionnaires de EADS, maison mère de l'avionneur, exigent un retour sur investissement doré sur tranche, de 20 % par an. « Du coup, on a mis les chiffres nécessaires pour y parvenir », se souvient un ancien dirigeant d'Airbus. Le business plan original de l'A380, que *Libération* s'est procuré, est d'un optimisme décoiffant. Le coût de développement est estimé à 9,5 milliards d'euros, dont la moitié

²³⁵ Fehrm, B. (2015, 23 avril). Bjorn's Corner: Boeing's 787 and Airbus' 350 programs, a snapshot. *Leeham News and Analysis*. <https://leehamnews.com/2015/04/23/bjorns-corner-boeings-787-and-airbus-350-program-snapshot/>

financée par Airbus. L'avionneur estime à l'époque qu'il rentrera dans ses frais dès la fin 2010, avec environ 250 avions livrés. L'A380 devait ensuite se transformer en vache à lait, et générer 40 milliards d'euros d'ici à la fin 2020.²³⁶

Selon Clark (2006b), le projet Airbus A380 est résumé comme :

Les rivalités personnelles et culturelles, au plus haut niveau et en-dessous, ont entravé l'efficacité et l'ouverture. Les ordinateurs de Toulouse et de Hambourg se sont révélés incompatibles. Un calendrier de production trop ambitieux pour le jet super-jumbo, avec ses défis techniques de très grande taille, a découragé la dissidence qui causerait des reports. Un délai fixé pour la première fois à six mois est passé à deux ans dévastateurs.

Airbus n'esquive pas la balle. Christian Streiff, qui est devenu PDG en juillet 2006 et a hérité du projet raté, admet, « [Ce] n'est pas l'équipe de conception électrique de Hambourg qui a échoué. Airbus est une seule entreprise. C'est Airbus dans son ensemble qui a échoué, la direction à plusieurs niveaux avec plusieurs passeports qui ont échoué, et certainement pas les équipes dans les ateliers. » En octobre, il démissionne, suivant les traces de son prédécesseur, Gustav Humbert.²³⁷

Robert Bean déclare : « Les problèmes d'Airbus soulignent le coût énorme d'une mauvaise interopérabilité dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement mondiale. Il ne s'agit là que d'un incident de plus en plus difficile. » (Wong, 2006)

Par conséquent, nous pouvons constater que plusieurs composants ont contribué au retard de l'A380, nous avons constaté que la structure organisationnelle complexe de la formation d'Airbus qui cherchait à maintenir une parité entre les Français et les

²³⁶ Philippin, Y. (2012, 7 mai). Airbus encaisse les coûts de l'A380. *Libération*. https://www.liberation.fr/futurs/2012/05/07/airbus-encaisse-les-couts-de-l-a380_817119

²³⁷ Wong, K. (2006, 5 décembre). What Grounded the Airbus A380? *Cadalyst*. <https://www.cadalyst.com/cad/product-design/what-grounded-airbus-a380-10903>

Allemands, allié à l'absence d'une équipe de projet centralisée, la possibilité excessive de personnalisation des intérieurs, un calendrier excessivement agressif et la fin de l'incapacité à résoudre les problèmes ont formé une tempête parfaite pour qu'Airbus échoue dans la meilleure façon de construire l'avion.

Selon Aboulafia (2017) l'A380 :

Il s'agit d'une expérience d'apprentissage, même si elle s'adresse à des gens qui auraient dû être mieux informés dès le départ. Lors du lancement d'un nouveau jet, il est important d'étudier les tendances du marché, les changements réglementaires, les développements technologiques probables et les préférences des clients. Rien de tout cela n'a été fait ici.²³⁸

Un facteur à ne pas oublier est que l'A380 a été le premier avion commercial à traverser la barrière de 20 % de l'utilisation des matériaux composites. Airbus a été le premier constructeur à utiliser 10 % de matériaux composites sur un avion avec le modèle A310, dans la fabrication de l'A320, le pourcentage est passé à 20 %²³⁹ et, avec l'A380, l'indice des matériaux composites était de 25 %.²⁴⁰

3.4.6 Analyse des rapports financiers d'Airbus

Tout retard dans un projet affecte financièrement une entreprise, les retards de l'A380 ont causé les deux seules pertes (gains d'exploitation) que la division d'avions commerciaux d'Airbus a eues entre 2000 et 2019. En 2006, il y a eu une perte d'US\$ 755 millions et, en 2007, la perte s'est élevée à US\$ 1,295 milliard, ce qui a totalisé une

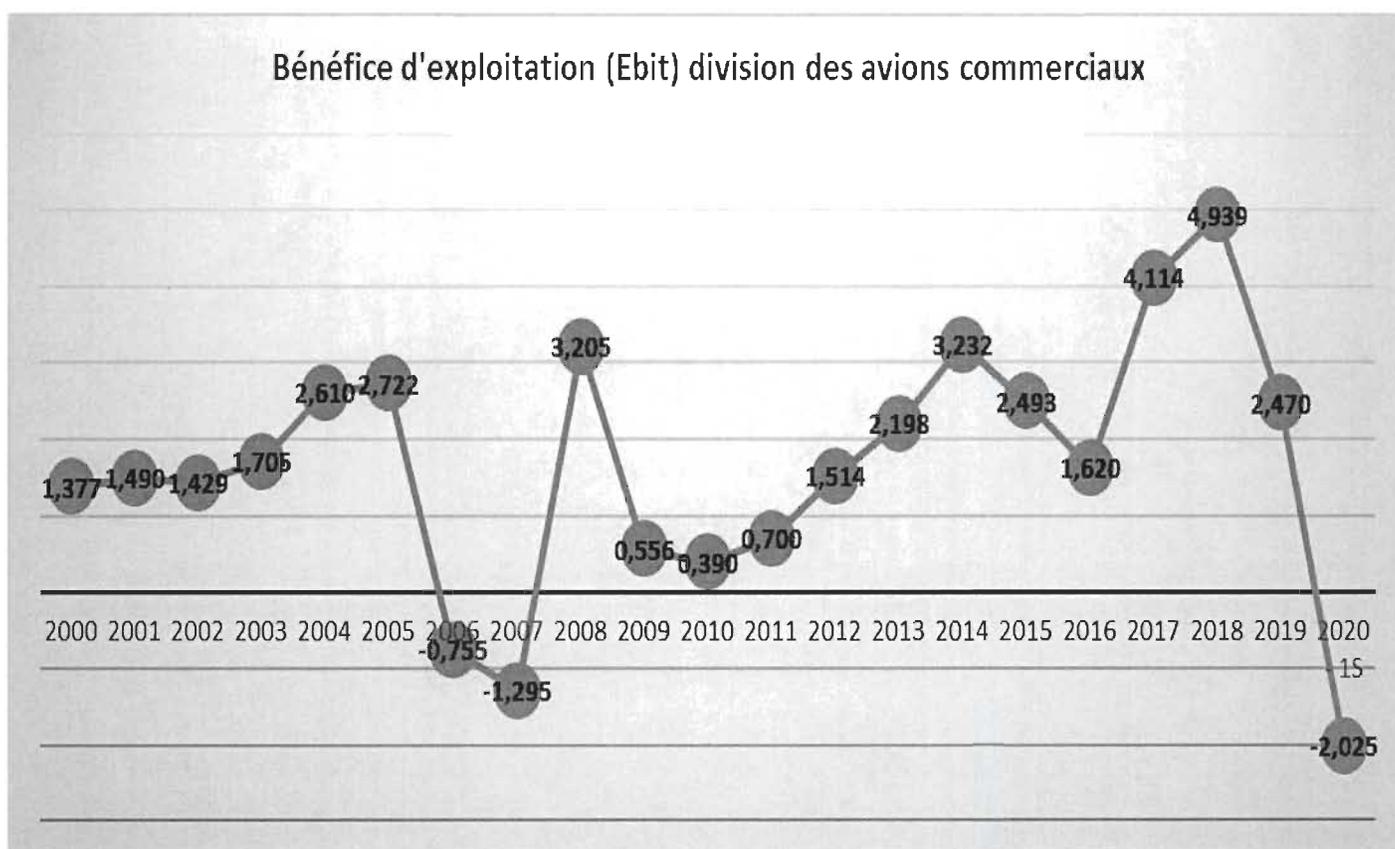
²³⁸ Kingsley-Jones, M. (2017, 19 septembre). ANALYSIS: The A380's rollercoaster ride in 10 years of service. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/analysis-the-a380s-rollercoaster-ride-in-10-years-of-service/125273.article>

²³⁹ Slayton, R. et Spinardi, G. (2015). Radical innovation in scaling up: Boeing's Dreamliner and the challenge of socio-technical transitions. *Technovation*, 47. 10.1016/j.technovation.2015.08.004

²⁴⁰ Mrazova, M. (2013). Advanced composite materials of the future in aerospace industry. *Incas Bulletin*, 5(3), 139–150. <https://doi.org/10.13111/2066-8201.2013.5.3.14>

perte cumulée d'US\$ 2,050 milliards de bénéfices d'exploitation. Les gains d'exploitation sont le montant obtenu après déduction des recettes des dépenses directement liées aux opérations de l'entreprise, telles que les dépenses générales et administratives, le coût des matériaux et de la main-d'œuvre utilisés dans la fabrication, les ventes et le marketing, la recherche et le développement, l'amortissement et d'autres coûts d'exploitation indirects (loyer, salaires, matières premières, etc.). Nous soulignons que jusqu'au premier semestre 2020, la société présente une perte d'US\$ 2,025 milliards, en raison de la crise de Covid-19 qui affecte l'ensemble du segment des avions commerciaux.

Figure 41 - Bénéfice d'exploitation de la division des avions commerciaux d'Airbus



Même en utilisant Airbus, les normes d'information financière de IFRS (International Financial Reporting Standards - Normes internationales d'information

financière), la vérification des valeurs appartenant au programme A380 est difficile à obtenir car la division commerciale de la compagnie possède d'autres programmes d'avions (famille A320, A330, etc.) rendant impossible l'obtention des coûts et des dépenses de l'A380, sauf si Airbus publie ces informations dans les notes contenues dans les rapports annuels.

Par conséquent, à travers cette difficulté, nous avons analysé les différents rapports financiers que la compagnie a publiés entre 2000 et 2020-1S, en cherchant la description des données relatives à l'A380 et il a été possible de les obtenir et de les mentionner au tableau 17, mais avant, nous allons expliquer brièvement leur signification.

- R&D : Il s'agit des dépenses effectuées pour la R&D de biens ou de services d'une entreprise.
- CapEx : Les dépenses en capital (CapEx) sont des fonds utilisés par une entreprise pour acquérir, moderniser et entretenir des actifs physiques tels que des immobilisations corporelles, des usines, des bâtiments, des technologies ou des équipements.
- Provision de contrat de perte : Si une entreprise attendue une perte en un projet, elle peut faire une provision (comptabilisé) de part ou de totalité de la perte prévue.
- Hedge : La couverture de change est similaire à une assurance que vous souscrivez pour vous protéger d'un événement imprévu. C'est une tentative de réduire les effets des fluctuations monétaires.
- Provision de contrat onéreux : Provision de contrat onéreux est un terme comptable qui fait référence à un contrat qui coûtera plus cher à une entreprise que ce que l'entreprise recevra en retour.
- Coût de réparation : Ce chiffre fait référence aux dépenses supplémentaires qu'Airbus avait pour réparer les fissures d'ailes que l'A380 a présentées après son lancement.
- Actifs spécifiques dépréciés : Un actif déprécié est un actif dont la valeur marchande est inférieure à la valeur inscrite au bilan de l'entreprise.
- A380 coût du programme : Ce sont des montants qui forment des dépenses sur le A380 qui ne peuvent pas être imputées à l'un des comptes de dépenses ou de coûts

comptables. Son utilisation n'est pas courante et n'a été informée par Airbus que par la décision de mettre fin à la production de l'A380 (2021), où, au fur et à mesure que la compagnie avance dans les préparatifs de clôture du projet, elle rend compte et répartit ces dépenses ou coûts.

- Montant additionnel : Sont des éléments du bilan représentant les fonds mis de côté par une société en tant qu'actifs pour payer les pertes futures anticipées.
- Ebit (Bénéfice avant intérêts et impôts) ajusté : Il s'agit d'un ajustement comptable que l'entreprise effectue, en déduisant ou en augmentant les montants calculés ultérieurement (après la fin d'un exercice comptable). En règle générale, les ajustements de Ebit indiquent les gains ou les pertes non réalisés ; les frais non monétaires (dépréciation, amortissement) et les frais de litige.

Le tableau 17 contient les chiffres des dépenses qu'Airbus a effectuées sur l'A380 et qui ont été consignées dans ses rapports financiers. Les valeurs sont en US\$ milliards.

Tableau 17 - Tableau des données financières du A380

	R&D	Capex	Provision de contrat de perte	Hedge	Provision de contrat onéreux	Coût de réparation	Actifs spécifiques dépréciés	A380 Coût du programme	Montant additionnel	Ebit ajusté
2001	0,346	0,27								
2002	0,86	0,956								
2003	1,363	1,482								
2004	1,337	1,801								
2005	0,959	0,935								
2006	1,018	0,861								3,3
2007			0,294	0,294						-2,205
2008			1,529	0,417						-0,417
2009			0,346		0,288					0,346
2010										0,322
2011	1,222					0,135				
2012						0,331				
2013						0,117				
2014										
2015	0,449									
2016	0,353									
2017	0,36									
2018					0,001		0,192	0,532		0,534
2019					0,111			0,226		
2020								0,401	0,312	
	8,267	6,305	2,169	0,711	0,4	0,584	0,192	1,160	0,312	1,880
Somme Finale	21,980									

Entre 2001 et 2006, la compagnie a annoncé avoir investi US\$ 12,188 milliards dans l'A380. En R&D, US\$ 5,883 milliards ont été investis et en dépenses en capital (CapEx), qui sont les montants utilisés par une entreprise pour acquérir, mettre à jour et maintenir des actifs matériels (usines, technologies, équipements, etc.), la valeur dépensée a été d'US\$ 6,305 milliards. Le terme CapEx utilisée par Airbus est équivalent aux coûts de production (coûts différés + outils) utilisés par Boeing.

À partir de 2007, avec le début de la production de l'A380, Airbus a cessé de déclarer les sommes dépensées en R&D et CapEx dans l'A380. Seulement dans les années 2011 (US\$ 1,222 milliard), 2015 (US\$ 449 millions), 2016 (US\$ 353 millions) et 2017 (US\$ 360 millions) est que les nouveaux montants investis en R&D ont été signalés, donc

le total investi en R&D était d'US\$ 8,267 milliards, ajoutant la R&D et CapEx, nous avons une valeur totale d'US\$ 14,572 milliards.

Entre 2007 et 2009, la société a déclaré des dépenses supplémentaires de US\$ 3,168 milliards pour l'A380, composées de provisions pour perte contractuelle (US\$ 2,169 milliards), de frais de protection contre les changes - hedge (US\$ 711 millions) et de provisions de contrat onéreux (US\$ 288 millions).

Entre 2011 et 2013, des dépenses supplémentaires d'US\$ 584 millions ont été portés à la connaissance du public et concernent les coûts de réparation des fissures dans les ailes des premiers modèles fabriqués.

Entre 2018 et 2020, déjà au courant de la fermeture de la production du modèle, l'entreprise a déclaré des dépenses totalisant US\$ 1,776 milliard, composées de : provision de contrat onéreux (US\$ 112 millions), actifs spécifiques dépréciés (US\$ 192 millions), A380 coût du programme (US\$ 1,160 milliard) et montant additionnel (US\$ 312 millions).

Toutes ces dépenses totalisent ensemble US\$ 20,010 milliards. En plus de ces investissements et de dépenses supplémentaires, la société a dévoilé certains ajustements au gain ou à la perte d'exploitation (Ebit). Avant d'indiquer les montants, nous soulignons que selon les règles comptables, une dette représente quelque chose que l'on a ou acquiert et le crédit est la source de la dette. Ainsi, dans les rapports financiers, lorsque nous signalons un ajustement positif (gain) dans le Ebit, selon les normes comptables, ce gain sera lancé comme une dette pour la comptabilité. Dans le tableau 17, les ajustements de gains du Ebit sont exprimés en valeurs négatives et une perte est représentée par une valeur positive. En résumé, nous pouvons dire que la valeur qui apparaît comme gain en fait est une perte et vice versa.

Ainsi, entre les années 2006 à 2010 et 2018, Airbus a procédé à l'ajustement de son Ebit, en indiquant les montants suivants : US\$ 3,3 milliards (2006), US\$ - 2,205 milliards (2007), US\$ -417 millions (2008), US\$ 346 millions (2009), US\$ 322 millions (2010) et US\$ 534 millions (2018), et le résultat final de ces montants a été une dépense supplémentaire d'US\$ 1,880 milliard. Enfin, le montant total des dépenses et des coûts déclarés pour l'A380 s'élève à US\$ 21,980 milliards.

Nous soulignons que lors de la vérification des montants déclarés dans les rapports financiers annuels d'Airbus sur plusieurs années, des dépenses et des investissements sont mentionnés, lorsqu'il est mentionné qu'il est lié aux modèles A380, A350 neo et A400M, mais en ne communiquant pas la valeur correspondant à chaque modèle, rendant ainsi impossible l'attribution de ces valeurs. Plusieurs analystes de l'aviation commerciale estiment que la valeur du coût de développement de l'A380 se situe entre US\$ 25 et 30 milliards²⁴¹ ou US\$ 27,250 milliards²⁴² (€ 25 milliards - devis de 31 décembre 2015 : € 1 = US\$ 1,09).

En 2015, Airbus a publié dans son rapport financier annuel, que l'A380 avait atteint le point d'équilibre pour la première fois en fabriquant 27 avions, en 2016 28 avions avaient été fabriqués et il a été mentionné qu'en plus d'avoir atteint à nouveau le seuil de rentabilité a commencé aussi le recouvrement des fonds investis dans l'avion. À partir de 2017, la production de l'avion a commencé à baisser, cette année 15 unités ont été fabriquées, 12 unités en 2018, en 2019 une nouvelle baisse avec 8 unités fabriquées et en 2020 (données jusqu'en novembre) seulement 1 avion fabriqué. Sur la base de ces informations, Airbus a pu récupérer une petite fraction de l'argent dépensé sur l'A380 entre 2015 et 2016.

²⁴¹ Aboulafia, R. (2016, 6 juin). Airbus A380: The Death Watch Begins. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/richardaboulafia/2016/06/06/airbus-a380-the-final-countdown/?sh=2cbfbc06553d>

²⁴² Jasper, C. et Rothman, A. (2016, 12 juillet). Airbus A380 Cut May Mark Beginning of End for Superjumbo. *Bloomberg*. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-07-12/airbus-plans-to-cut-annual-a380-deliveries-to-12-as-of-2018>

En conclusion, la décision d'Airbus de fabriquer l'A380 était totalement erronée, car le montant dépensé pour le développement de l'avion pourrait et aurait été mieux utilisé pour le développement de l'A350, dont nous nous souvenons qu'il a été retardé en raison de retards de l'A380, ou encore, dans le développement d'un avion similaire au nouveau 777-X, qui jusqu'en 2020 accumule 309 commandes fermes.

CHAPITRE 4 - RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le défi pour l'industrie aérospatiale est d'innover et d'améliorer la minceur (Murman, Allen, Cutcher-Gershenfeld, Bozdogan, Allen, et Murman, 2002). D'autres industries manufacturières, comme l'industrie automobile, ont relevé le défi il y a des décennies et ont apporté des améliorations importantes (Womack, 1990, cité dans Beelaerts *et al.*, 2010). L'industrie manufacturière en général montre plusieurs tendances, qui peuvent être élaborées et adaptées à l'industrie aérospatiale. Le secteur aérospatial a fait face à quelques défis majeurs : la montée de la concurrence mondiale, la maturité des produits de base tels que les cellules et les moteurs, et la consolidation de l'industrie. Pour relever ces défis, le secteur aérospatial peut tirer des leçons des principes allégés développés dans le secteur automobile.

La philosophie Lean consiste à construire des réseaux efficaces d'offre et de demande pour produire des produits. Les chercheurs ont observé qu'au cours des dernières années, la concurrence dans l'industrie manufacturière est passée d'entreprises concurrentes à des chaînes d'approvisionnement concurrentes. Les réseaux dans lesquels une entreprise opère sont de plus en plus les facteurs moteurs du succès ou de l'échec. Cela entraîne trois grands défis pour les intégrateurs (OEMs). Le premier est de construire le meilleur réseau d'approvisionnement. Le deuxième consiste à établir un réseau efficace de partage des connaissances et le troisième consiste à gérer une coopération fructueuse au sein du réseau pour innover et être concurrentiel. Les entreprises aérospatiales capables de relever ces défis sont en mesure de tirer parti de la valeur pour leurs fournisseurs et de créer ainsi de la valeur pour assurer une circulation plus efficiente et plus efficace.

En outre, les OEMs doivent s'assurer que leurs fournisseurs sont en mesure d'augmenter leur capacité, de sorte que leurs processus ne soient pas perturbés par un fournisseur incapable de faire face à la hausse du débit. Dans l'ensemble, cela conduit à une SC de plus en plus consolidée, avec moins de fournisseurs, mais plus de fournisseurs

mondiaux soutenant de nouveaux programmes d'avions. Pour ajouter à la complexité de cette transition, les équipementiers doivent réaliser cette consolidation et cette croissance tout en développant et en intégrant de nouvelles technologies et de nouveaux matériaux dans leurs conceptions, stimulés en partie par la dynamique concurrentielle, la demande de coûts des compagnies aériennes et la nécessité de réduire l'impact environnemental des aéronefs.²⁴³

Selon Ramirez (2009) le pilotage d'un projet est une activité que la seule utilisation d'un tableau de bord et d'un système d'indicateurs n'est pas suffisante pour permettre au pilotage de projet (et au projet lui-même) d'attendre ses objectifs. En effet, il faut d'abord s'assurer que les processus sont définis, maîtrisés et qu'ils permettent au projet d'atteindre les objectifs. Ainsi elle rapporte : « un projet est dit mature si l'ensemble des processus qui le composent est maîtrisé et permet d'atteindre les objectifs fixés, cette maîtrise se contrôlant au fur et à mesure de l'avancement du projet. »²⁴⁴

À travers les recherches menées sur les retards des projets, nous avons élaboré le tableau 18, en indiquant le nombre de retards de chaque projet et, en signalant brièvement le motif du retard, quel est le problème et/ou sa localisation et en le corrélant avec les quatre hypothèses (cause) proposées dans cette étude.

²⁴³ Department for Business Innovation & Skills (2016). BIS Research Paper Number 294 - *UK Aerospace Supply Chain Study*, pp 12-24. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/536903/bis-16-310-aerospace-supply-chain-study.pdf

²⁴⁴ Ramirez, N. G. (2009). *Contribution à l'amélioration des processus à travers la mesure de la maturité de projet : application à l'automobile*. [Thèse de doctorat de l'École Centrale des Arts et Manufactures]. https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/491760/filename/2009ECAP0041_0_0.pdf

Tableau 18 - Tableau de corrélation des retards avec les hypothèses

Projet	Retard	Motif	Où?	Hypothèse (cause)
Mitsubishi SpaceJet M90	Première	Modifications de conception	Cockpit, windbox (caisson d'aile) et améliorations dans la cabine et compartiment cargo	Erreur de conception de projet et manque de connaissance et immaturité
	Deuxième	Échecs de documentation	Échecs dans la planification et le contrôle de la documentation du projet requise pour la certification des aéronefs	Manque de connaissance et immaturité
	Troisième	Incapacité à comprendre les normes	Manque d'expérience pour suivre les nouvelles directives de la FAA pour la certification	Manque de connaissance et immaturité
	Quatrième	Problèmes techniques et de gestion	Besoin de renfort d'aile, modifications du train d'atterrissage et améliorations du système de contrôle de vol	Erreur de conception de projet et manque de connaissance et immaturité
	Cinquième	Révision et reconfiguration de certains systèmes électriques	Reconfiguration des systèmes électriques avioniques des ailes et d'une partie du fuselage de l'avion	Erreur de conception de projet et manque de connaissance et immaturité
	Sixième	Retard certification avion	Culture organisationnelle et sociale japonaise et problèmes d'intégration et de communication	Difficulté d'intégration entre collaborateurs occidentaux et orientaux
Comac C919	Première	Familiarisation avec le projet	--	Manque de connaissance et immaturité
	Deuxième	Retard de montage de l'avion d'essai	--	Manque de connaissance et immaturité
	Troisième	Erreur de calcul du facteur de charge du moteur, fissures dans le stabilisateur et vibrations dans le moteur	Moteur, carénage du moteur et fissures dans le stabilisateur vertical	Erreur de conception de projet et manque de connaissance et immaturité
	Quatrième	Retard dans la résolution des problèmes techniques	Correction de problèmes dans diverses parties de l'avion et de problèmes d'intégration d'équipe	Erreur de conception de projet et manque de connaissance et immaturité
Boeing 787 Dreamliner	Première	Manque de pièces et défis dans l'intégration logicielle	Manque de fixateurs dans plusieurs fournisseurs et absence de données dans le logiciel de contrôle de SCM	Échec ou absence de coordination du SC / manque de connaissance / erreurs de conception
	Deuxième	Manque de pièces, défis et problèmes techniques et de gestion	Manque de fixateurs et manque de connaissances techniques opérationnelles chez certains fournisseurs	Échec ou absence de coordination du SC / manque de connaissance / erreurs de conception
	Troisième	Problèmes techniques et de gestion	Besoin de renforcement des capacités des fournisseurs et d'apprentissage de Boeing	Erreur de conception de projet et manque de connaissance et immaturité
	Quatrième	Défaut de conception du boîtier de l'aile centrale et problèmes de qualité du fuselage	Fuselage arrière et caisson de l'aile centrale	Échec ou absence de coordination du SC / manque de connaissance / erreurs de conception
	Cinquième	Mauvais montage des fixations, besoin de renforcement structurel et grève à l'usine Boeing	Joint aile avec le fuselage, mauvais montage des fixateurs dans le fuselage et arrêt de la production	Échec ou absence de coordination du SC / manque de connaissance / erreurs de conception / grève
	Sixième	Rides microscopiques dans la fuselage, lacunes dans le stabilisateur horizontal et explosion du moteur	Fuselage central, stabilisateur horizontal et moteur	Échec ou absence de coordination du SC / manque de connaissance / erreurs de conception
	Septième	Manqué de moteur, incendie à la centrale électrique	Fournisseur de moteur et court-circuit d'un panneau électrique	Erreurs de conception de projet
	Huitième	Mise à jour de divers composants de l'avion (cockpit, stabilisateur, moteur et tableau électrique)	Système électrique, cockpit, stabilisateur horizontal et moteur	Échec ou absence de coordination du SC / manque de connaissance / erreurs de conception
Airbus A380	Première	Problème de câblage et complexité de conception des intérieurs du cabine	Câblage du système de divertissement et problèmes avec le projet de conception	Échec ou absence de coordination du SC / manque de connaissance / erreurs de conception
	Deuxième	"Problèmes d'augmentation de la production"	Câblage du système de divertissement et problèmes avec le projet de conception	Échec ou absence de coordination du SC / manque de connaissance / erreurs de conception
	Troisième	Sous-estimation du temps pour resoudre le problème de câblage	Apprentissage du nouveau logiciel et continuité du problème d'installation des câbles	Échec ou absence de coordination du SC / manque de connaissance / erreurs de conception

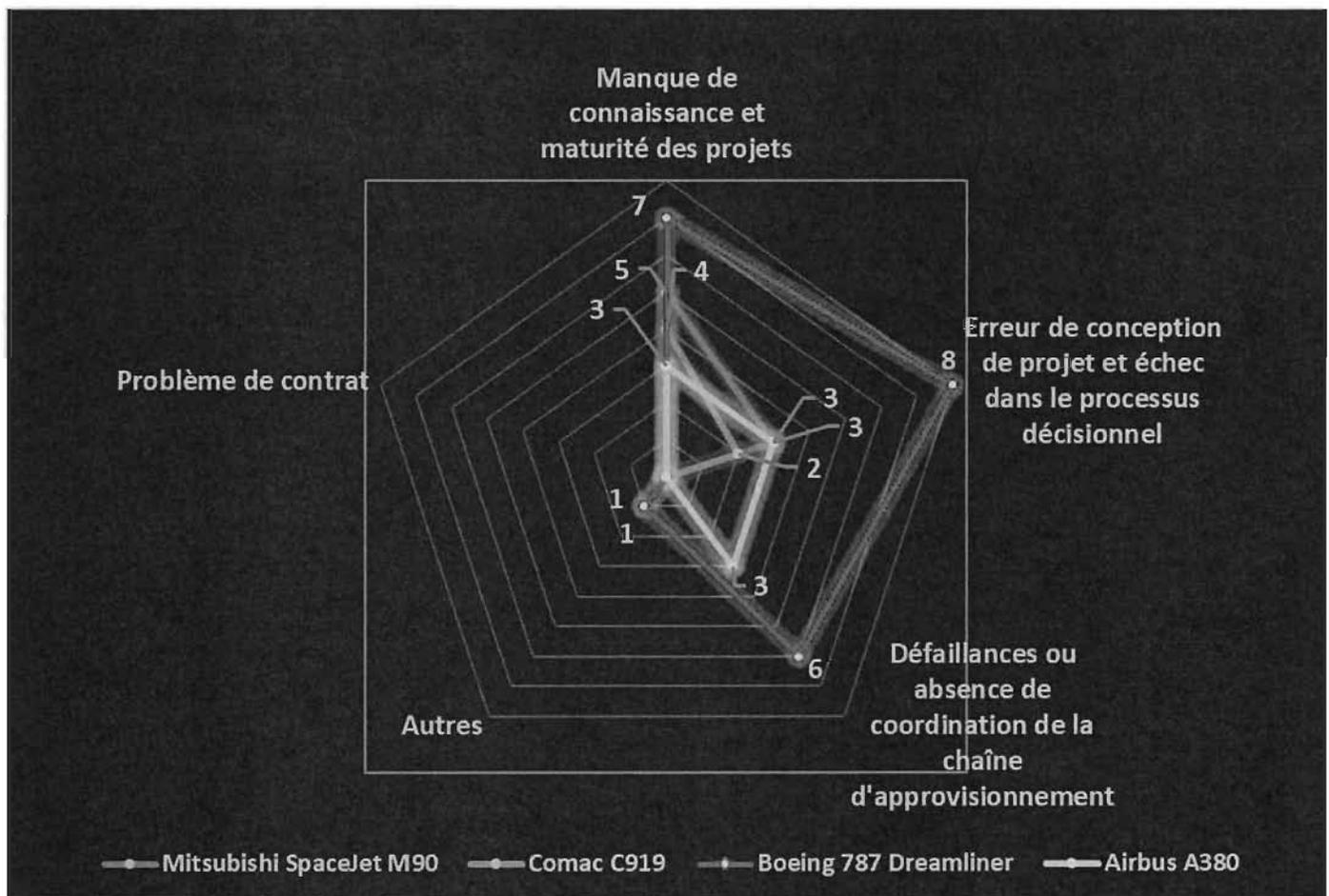
Dans le tableau 18, on peut voir que, bien que les raisons des retards soient diversifiées, on constate une corrélation entre les retards et la prédominance de trois hypothèses (causes). Un autre fait frappant est que, sur les 21 retards survenus dans les projets, 15 avaient deux raisons ou plus de leur occurrence.

Tableau 19 - Lien entre les retards et les causes de leur apparition

	Mitsubishi SpaceJet M90	Comac C919	Boeing 787 Dreamliner	Airbus A380
Problème de contrat	--	--	--	--
Erreur de conception de projet et échec dans le processus décisionnel	1er, 4e et 5e retard	3e et 4e retard	1er, 2e, 3e, 4e, 5e, 6e, 7e et 8e retard	1er, 2e et 3e retard
Manque de connaissance et maturité des projets	1er, 2e, 3e, 4e et 5e retard	1er, 2e, 3e et 4e retard	1er, 2e, 3e, 4e, 5e, 6e et 8e retard	1er, 2e et 3e retard
Défaillances ou absence de coordination de la chaîne d'approvisionnement	--	--	1er, 2e, 4e, 5e, 6e et 8e retard	1er, 2e et 3e retard
Autres	6e retard	--	5e retard	--

La figure 42 montre les causes des retards selon les hypothèses. Comme constaté dans les tableaux 18 et 19, 15 des 21 retards ont deux causes ou plus pour leur occurrence, de sorte que la quantité de causes de retards sera supérieure à la quantité de retards, de cette façon, le SpaceJet M90 a 9 causes, le Comac C919 6 causes, le Boeing 787 Dreamliner 22 causes et l'Airbus A380 9 causes, totalisant 46 causes (voir figure 43).

Figure 42 - Corrélation entre les hypothèses et les causes des retards



Le graphique ci-dessus, l'occurrence élevée de retards dans le projet 787 est démontrée, sur les 46 causes de retards, l'avion a eu 22 événements (47,83 % du total) et nous avons constaté que les mêmes causes ont été répétées dans les huit retards que le projet a présentés. Cette preuve de la difficulté de Boeing à comprendre le projet, résultant

de la décision du modèle d'affaires dans Dreamliner, c'est-à-dire, de la financiarisation excessive, a conduit l'entreprise à adopter un taux d'impartition élevé d'externalisation dans le développement et la fabrication de l'avion, sans coordination adéquate, ce qui, conjugué au manque de connaissances et de maturité de certains fournisseurs, a entraîné des retards. Avec une fréquence d'incidence des erreurs plus faible, nous avons constaté que l'A380 avait également des difficultés à résoudre les causes des retards et que, comme Boeing, la compagnie a échoué dans la coordination du projet, avec le facteur aggravant que précédemment les autres modèles fabriqués par la société ont adopté la même méthodologie de production. Avec la production des composants des modèles précédemment développés (A300, A310, etc.) dans les différentes usines d'Airbus et son assemblage final à Toulouse ou Hambourg, la société avait donc déjà beaucoup de savoir-faire dans ce processus de production et même ainsi, elle n'a pas réussi à exécuter le projet A380.

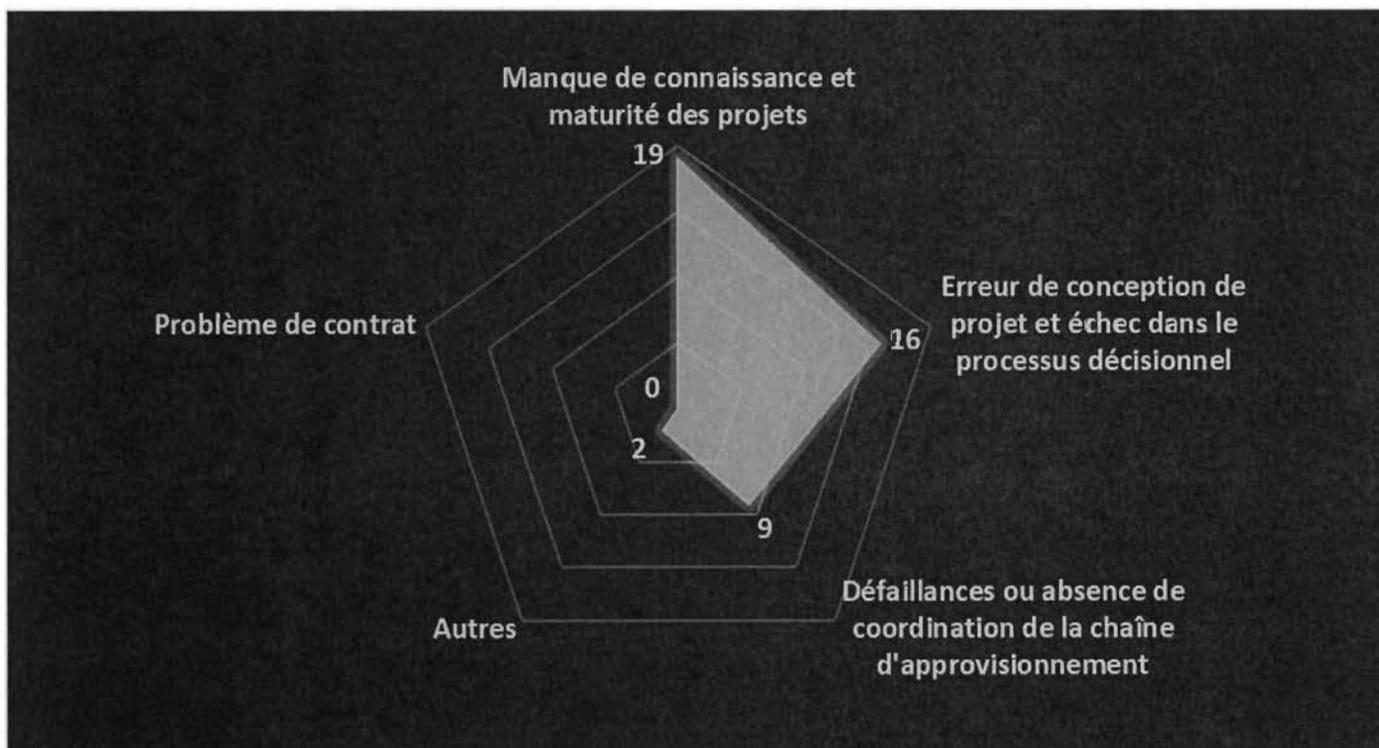
Il convient de noter que les nouveaux constructeurs aéronautiques (Comac et Mitsubishi) n'ont pas eu comme cœur de leurs retards l'échec ou le manque de coordination de la chaîne d'approvisionnement, il y a la prédominance des erreurs de conception de projet et des échecs dans le processus décisionnel qui s'ajoute au manque de connaissances et de maturité dans les projets.

Dans une moindre mesure, il y avait deux facteurs qui ne sont pas associés aux hypothèses, ce qui a causé des retards dans le projet. En 787, le cinquième retard a été associé à deux hypothèses, mais la principale contribution à son apparition a été une grève des ouvriers, qui a duré 57 jours et paralysé toute la production d'avions dans les usines Boeing situées dans l'État de Washington. Dans le SpaceJet M90, le sixième retard est attribué à la difficulté d'intégration entre les nouveaux employés, principalement occidentaux, qui ont été embauchés pour apporter leurs connaissances et leurs expériences dans le développement et la fabrication d'avions, dans le but d'aider et de contribuer à la résolution des problèmes de l'avion, mais il y a eu un grand choc culturel avec les

employés japonais. Les Occidentaux ont adopté des comportements de prise de décision et de résolution de problèmes, ce qui a effectivement amélioré le projet, mais qui était totalement contraire au rituel hiérarchique japonais, c'est-à-dire que les collaborateurs japonais se sentaient rejetés et non valorisés et cette guerre culturelle reflétait un nouveau retard pour le projet.

Les faits mentionnés ci-dessus démontrent que les projets de développement d'aéronefs exigent une myriade de savoirs de grande variété. Le succès d'un projet précédent ne signifie pas le succès d'un nouveau projet. Quand il s'agit de gestion de projet, dans une analogie culinaire, nous pouvons avoir une « recette » qui énumère tous les ingrédients et les procédures à exécuter, mais qui dépendra de la compétence, le talent et l'expertise du chef, renforçant une partie de la définition des projets, qui dit que le projet est un événement unique et non répétitif.

Figure 43 - Causes des retards



4. 1 HYPOTHÈSE 1 : PROBLÈME DES CONTRATS

En ce qui concerne les contrats, tels qu'ils ont été revus de la littérature de la présente étude, un contrat c'est un projet, parce qu'ils ont des caractéristiques communes, étant :

- Objet à faire, c'est-à-dire la description des services et/ou des marchandises qui seront proposés dans le même ;
- Dates et/ou délais pour la réalisation de l'objet ;
- Valeurs, c'est-à-dire les ressources financières qui seront utilisées pour l'exécution de l'objet.

Sans faire aucun démerite à la question contractuelle, nous pouvons résumer que le contrat est tout simplement un instrument administratif, juridique et formel pour garantir la réalisation d'un accord entre deux parties, c'est-à-dire entre le client (contractant) et le fournisseur (sous contrat), où les normes, règles et objectifs qui régissent l'accord sont établis.

Les constructeurs d'aéronefs doivent établir des partenariats du style « gain x gain », où les deux parties établissent une coopération mutuelle avantageuse pour les deux, où il existe une synergie durable de leurs actions et objectifs, à ce stade, le SCM peut agir comme faciliter l'établissement d'un tel partenariat.

Dans le segment aéronautique, où, en général, les produits sont caractérisés par des indices technologiques élevés, Pereira (2017, p. 11) rapporte :

En raison de la complexité des produits et des coûts non récurrents élevés, il est très difficile et coûteux de remplacer un fournisseur, par conséquent,

il est primordial d'établir des processus optimaux pour la sélection des fournisseurs et pour le suivi de la performance.²⁴⁵

En plus des règles et obligations des contrats, les fournisseurs de la chaîne d'approvisionnement aéronautique doivent suivre un ensemble des normes, des règles et des conduites, qui est devenu connu en anglais sous le nom de Compliance. Selon le Cambridge English Dictionary, l'origine du terme Compliance vient du verbe « se conformer », c'est-à-dire « agir selon un ordre, un ensemble de règles ou une demande ».

Selon Makishi (2018), dans le vocabulaire de l'entreprise, *Compliance* se rapporte :
Aux termes conformité ou intégrité de l'entreprise, qui couvre tous les ensembles de règles que chaque société doit observer et respecter, et qui peuvent varier en fonction des activités menées par chaque entreprise. Cela comprend non seulement les questions liées aux systèmes anti-corruption, mais aussi à la conformité avec le travail, l'environnement, compétitif, fiscal (comptabilité et fiscalité), réglementaire, et de nombreux autres.²⁴⁶

Lorsqu'un fournisseur est sélectionné dans le cadre de la SC aéronautique, il doit étendre la *Compliance* à tous ses fournisseurs, créant ainsi un réseau d'entreprises qui suivent un code de conduite standardisé (bien entendu, en respectant les spécificités et particularités de chaque entreprise et / ou produit / service).

Dans un projet, il peut y avoir un ou plusieurs contrats, selon le but et la complexité de celui-ci, il est donc tout à fait normal d'avoir différents types de contrats avec des

²⁴⁵ Pereira dos Santos Silva, M. (avril, 2017). *Projet pour l'amélioration de la performance des entreprises aéronautiques de rang 2 et 3*. [Mémoire de maîtrise en gestion de projet, Université du Québec à Trois-Rivières].

²⁴⁶ Makishi, M. (2018, 20 avril). Afinal, o que significa Compliance? *Portal dos Administradores*. <http://www.administradores.com.br/noticias/cotidiano/afinal-o-que-significa-compliance/123578/>

exigences différentes en fonction de la complexité de la relation entre le contractant et la partie contractante requise.

Parmi les quatre cas analysés dans cette étude, nous avons constaté que ce n'est que dans un cas que le contrat a contribué indirectement au retard du projet, la clause de retard de paiement que Boeing a adoptée pour le projet 787, a épuisé financièrement certains fournisseurs (Vought et Global Aeronautica) qui ont fait de lourds investissements dans la construction des installations et, comme le paiement ne serait effectué que dans la livraison de l'avion au client, ces 2 fournisseurs n'étaient pas en mesure d'investir dans la résolution des problèmes de production. Mais d'autres facteurs avaient plus de poids et de responsabilité pour que les problèmes de retard se produisent. Analysant les faits ci-dessus, nous pouvons vérifier que les retards dans les projets d'aéronefs ne proviennent pas de défaillances de contrats, il s'agit d'une question plus large et qui fait partie d'une variété de causes et d'origines.

4.2 HYPOTHÈSE 2 : ERREUR DE CONCEPTION DE PROJET ET ÉCHEC DANS LE PROCESSUS DÉCISIONNEL

La question de l'erreur est un paradigme à comprendre et à travailler dans la société et les organisations, parce que nous traitons cette question de manière mystifiée et imprégnée de préjugés existant dans notre culture. Il est clair que l'idéal est qu'il ne devrait pas y avoir d'erreurs dans la planification et la prise de décision, mais nous savons que l'absence d'erreurs ou d'échecs, pour l'instant, c'est toujours une situation utopique. Dans la présente étude, il a été constaté que les erreurs de conception et des échecs dans le processus décisionnel étaient présents dans 16 des 21 retards constatés, avec une participation à 76,19 % des retards, et des 46 causes, les erreurs représentaient 34,78 % des causes. Selon Love *et al.*, (2012), les erreurs de conception peuvent contribuer jusqu'à 30 % de la valeur d'un contrat de projet de construction.

Chaque organisation est confrontée à des erreurs. Les erreurs peuvent entraîner des conséquences négatives (p. ex., perte de temps, produits défectueux) ainsi que des conséquences positives (p. ex., apprentissage, innovation). À long terme, les organisations qui ont une approche efficace des erreurs peuvent être plus rentables parce qu'elles apprennent des erreurs, sont plus aptes à expérimenter et sont plus susceptibles d'innover.²⁴⁷

Selon Rasmussen (2000) « L'évaluation d'un environnement de travail dynamique est difficile car l'évaluation dépend d'une comparaison de la solution avec une formulation explicite des besoins futurs d'un utilisateur adaptatif. »²⁴⁸

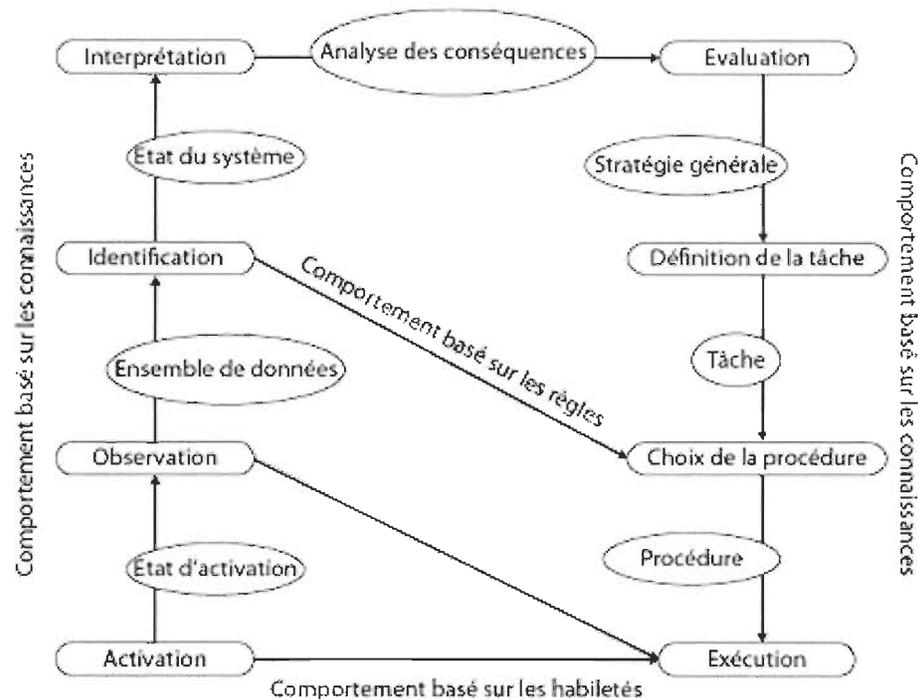
Rasmussen (1983) a élaboré un modèle qui classe le comportement humain en 3 catégories : comportement basé sur les compétences, basé sur des règles et basé sur les connaissances. Ce modèle est devenu connu comme le modèle ou l'échelle SRK (Skills, Rules and Knowledge - compétences, règles et connaissances). Selon Hobbs et Williamson (2002),²⁴⁹ Rasmussen propose que les erreurs humaines puissent être considérées en fonction du niveau de contrôle cognitif du comportement qui a guidé la personne au moment de l'erreur. La performance fondée sur les compétences est automatique et ne nécessite aucune intervention consciente. La performance basée sur des règles couvre l'application des connaissances existantes pour guider le comportement d'une manière d'agir impliquant des analyses, telles que « si puis » et enfin le comportement basé sur la connaissance se réfère à des situations de résolution de problèmes plus complexes, pour lesquelles il n'existe pas de solution standard facilement disponible (par exemple, des règles ou des procédures).

²⁴⁷ van Dyck, C., Frese, M., Baer, M., et Sonnentag, S. (2005). Organizational error management culture and its impact on performance: a two-study replication. *The Journal of Applied Psychology*, 90(6), 1228–40.

²⁴⁸ Rasmussen, J. (2000). Trends in Human Factors Evaluation of Work Support Systems. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 44(37), 561–564. <https://doi.org/10.1177/154193120004403704>

²⁴⁹ Hobbs, A., et Williamson, A. (2002). Skills, rules and knowledge in aircraft maintenance: errors in context. *Ergonomics*, 45(4), 290–308. <https://doi.org/10.1080/00140130110116100>

Figure 44 - Modèle SRK de Rasmussen

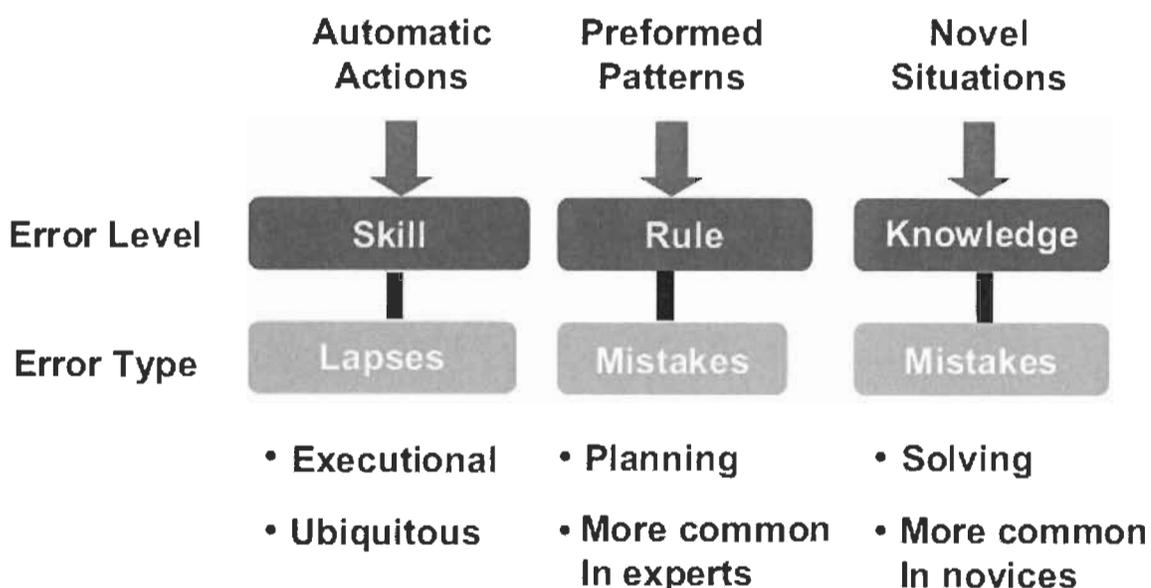


Source : Lini (2013)

Des erreurs peuvent se produire à l'un des trois niveaux de comportement du SRK, mais dans son étude Hoobs et Williamson (2002) ont démontré que les performances basées sur les compétences sont plus fiables (moins sujettes à erreur) que les performances basées sur des règles, qui à son tour sont plus fiables que les performances basées sur les connaissances.

Sarker et Vicent (2005) ont élaboré un tableau combinant le modèle SRK de Rasmussen avec le système générique de modélisation des erreurs de Reason qui permet une compréhension parfaite de l'interaction entre les deux modèles en démontrant le niveau d'erreur avec le type d'erreur.

Figure 45 - Interaction entre le modèle SRK de Rasmussen et le système générique de modélisation des erreurs de Reason



Source : Sarker et Vicent (2005)

Lorsque nous abordons des erreurs, nous constituons généralement un scénario où il y a une erreur unique qui provoque un problème, et c'est un paradigme qui doit être rompu. Van Dyck *et al.*, (2005) soulignent que la plupart des erreurs commises dans une entreprise sont d'une importance mineure et appartiennent aux activités quotidiennes de ses exécuteurs. Comme dans les accidents aériens, où la plupart des accidents ou des incidents sont dérivés non pas d'une seule erreur mais d'une chaîne successive d'événements (décisions erronées, imprudence, négligence, incapacité, etc.). Dans ce contexte, les organisations doivent mettre en œuvre des procédures permettant d'identifier les erreurs le plus rapidement possible, de manière qu'en cas d'erreurs ou de défaillance, il n'y ait pas d'accumulation de ces erreurs, visant à atténuer ou à réduire les effets indésirables sur le projet ou dans toute autre activité développée dans l'entreprise. Ainsi, l'approche de la prévention ou de la gestion des erreurs consiste à ne pas considérer les erreurs comme des causes, mais comme des effets de problèmes cachés et à transformer les données obtenues dans la prévention en informations qui préviennent les erreurs futures, permettant ainsi le développement, la mise à jour et/ou la mise en œuvre de

mesures et procédures (barrières) d'actions pour faire face aux erreurs. Notre vision des erreurs est en similarité avec d'autres études qui indiquent que les erreurs doivent être gérées, comprendre leurs causes et prendre les mesures appropriées (qui incluent des changements dans la politique, les procédures et la mise en œuvre d'une formation spéciale) pour réduire et minimiser leur incidence et leurs conséquences (Helmreich, 1998, cité dans Love, Lopez et Kim, 2014). Et la gestion des erreurs reconnaît son inévitabilité et adopte une position non punitive par rapport à son événement involontaire. Un concept fondamental de gestion des erreurs est l'inclusion de « défenses » qui sont insérées dans un système pour prévenir les erreurs (Love, Edwards, Han, et Goh, 2011 ; Reason, 1997, cité dans Love *et al.*, 2014).

Dans le processus décisionnel, les entreprises devraient chercher à s'assurer que la décision a été prise en fonction de la plus grande quantité de données reflétant les scénarios passés, présents et futurs. En ce qui concerne l'A380 Airbus n'ont pas tenu compte des informations pertinentes qui auraient pu empêcher la décision de construire l'avion, comme déjà mentionné, la compagnie a ignoré un changement de marché dans la façon dont le voyage est effectué (remplacement des déplacements des principaux hubs para le voyage point à point) et aussi l'évolution technologique des moteurs d'avions. Au début des années 1960, les avions à deux moteurs à réacteurs avaient l'autorisation de voler 60 minutes entre les aéroports, cette limite était due à une norme de sécurité que OACI (International Civil Aviation Organization). Les normes sont définies dans un document appelé ETOPS (Extended-Range Twin-Engine Operational Performance Standards) qui contient des règles pour le fonctionnement des avions bimoteurs, la norme garantit la limite qu'un aéronef peut voler en toute sécurité avec un seul moteur. Les ETOPS sont homologuées par les agences (FAA, EASA, etc.). En 1976, la limite était de 90 minutes, en 1985, elle est passée à 120 minutes et en 1988, la limite est passée à 180 minutes. Avec 180 minutes les bimoteurs peuvent voler sur 95 % de la surface de la Terre.²⁵⁰ Ainsi depuis

²⁵⁰ Gratton, G. (2015). *Initial Airworthiness: Determining the acceptability of new airborne systems*. Springer.

1988, l'évolution technologique des moteurs avait déjà assuré une fiabilité qui a permis le démarrage du développement de nouveaux avions wide-body (777, 787, A330 et A350). Ce qui est ironique, c'est qu'Airbus a été le premier équipementier à fabriquer un wide-body bimoteur l'A300.

En résumé, nous constatons qu'à un certain moment du projet, il y a eu une défaillance dans le processus de contrôle (barrière de confinement) qui aurait pu éviter que des erreurs dans la conception du projet ou dans la prise de décision ne se produisent et, ce qui s'est traduit par des retards dans le projet. Ces retards ont eu des conséquences administratives, financières et culturelles dans les entreprises étudiées. Ce que nous devons garder à l'esprit, c'est que les erreurs apportent une occasion d'apprentissage, de mise à jour des concepts et de rupture des paradigmes tant sur le plan personnel que sur le plan organisationnel, le processus d'assimilation et de compréhension des erreurs visant à éviter leur répétition, il peut devenir un allié puissant tant qu'il est bien conduit.

4.3 HYPOTHÈSE 3 : MANQUE DE CONNAISSANCES ET MATURITÉ DES PROJETS

Le manque de connaissances et de maturité dans les projets était présent dans 19 des 21 retards (90,48 %) et a été responsable ou coresponsable de 19 des 46 causes de retards, un indice de 41,30 %, ces données parlent d'elles-mêmes et démontrent l'importance que les entreprises doivent donner à l'acquisition de connaissances et de politiques pour atteindre la maturité dans les projets.

Comme nous l'avons vérifié dans l'étude du retard de 787, deux fournisseurs (Vought et Alenia) ont eu d'énormes difficultés à livrer les composants avec la qualité requise et à temps, cependant, dans l'analyse de l'histoire de ces entreprises, ils n'avaient jamais effectué quelque chose de semblable à ce qui était exigé par Boeing pour participer au processus de développement du 787.

Comme nous l'avons vérifié au tableau 19, le manque de connaissances et de maturité dans les projets a contribué à l'apparition de 7 des 8 retards du 787. Selon Lunsford (2007b) : « Boeing a surestimé la capacité des fournisseurs à gérer des tâches que ses propres concepteurs et ingénieurs savent faire intuitivement après des décennies de construction de jets. »

Pour devenir fournisseur de la chaîne aéronautique, une entreprise doit satisfaire à plusieurs exigences, telles que celles mentionnées dans l'étude de Pereira (2017, p. 11) : « Donc, pour gagner des contrats, une entreprise doit présenter d'excellents résultats par rapport à sa performance globale, ainsi qu'à l'égard de l'exécution de ses, projets, en assurant :

- Les respects des exigences techniques et de contraintes dès le début des projets afin de minimiser, voire éviter, les gaspillages et les retouches ;
- Le développement des produits à l'intérieur des délais et de budgets établis ;
- La livraison des produits avec haut niveau de qualité et de maturité. »

Selon Argote et Epple (1990) « Le nombre d'heures de travail direct nécessaires pour assembler un aéronef a diminué considérablement à mesure que l'expérience était acquise dans la production, et le taux de réduction des heures d'assemblage a diminué avec l'augmentation de la production cumulative. »

Il y a habituellement une confusion entre la courbe d'apprentissage et maturité dans les projets. La courbe d'apprentissage a été mentionnée pour la première fois en 1885, lorsque le psychologue allemand Hermann Ebbinghaus a publié un livre décrivant un travail pionnier en psychologie expérimentale et comportementale, qui a étudié la relation entre la répétition, la mémorisation et la performance dans l'exécution d'une tâche. En 1913, avec la publication du livre en anglais, le terme a commencé à être plus disséqué. En 1919, Louis Thurstone publie un article intitulé « *The Learning Curve Equation* », appliquant les concepts de Ebbinghaus avec des méthodes statistiques pour

démontrer la courbe d'apprentissage. En 1936, l'ingénieur aéronautique américain Theodore Paul Wright a publié l'article « *Factors Affecting the Costs of Airplanes* », où il a proposé un modèle mathématique de la courbe d'apprentissage et ainsi popularisé le terme courbe d'apprentissage et son association avec le coût de production. En 1968, Bruce Henderson a utilisé le modèle de coût unitaire de Wright et a ajouté la loi de puissance²⁵¹ et lui a donné le nom de courbe d'expérience, en vendant ce modèle à plusieurs entreprises.²⁵²

Selon Garcias (2016), la courbe d'apprentissage ou la courbe d'expérience est l'association entre le coût de production d'un bien et le volume accumulé de production qui peut être modélisé mathématiquement. Le coût de production d'un bien a diminué à un rythme uniforme selon le nombre accumulé d'unités produites, en raison de l'effet d'une augmentation des « connaissances » liée à l'accumulation d'expérience.

Déjà par maturité dans la gestion de projet, en plus des définitions faites dans l'article 2.3 de cette étude, on peut le résumer selon Kerzner (2002, cité dans Pereira 2007) : « le développement de systèmes et de processus répétitifs afin d'augmenter les chances de succès dans les projets ».

Par conséquent, même avoir un bon indice d'apprentissage (démonstré par la courbe d'apprentissage) ne signifie pas qu'une entreprise a de la maturité dans la gestion de projet. Dans les différents modèles de maturité, il existe une échelle évolutive, généralement composée de cinq niveaux pour mesurer le niveau de maturité. Donc, nous voyons que la maturité des projets est un processus continu de développement et d'amélioration des systèmes et des processus répétitifs (Kerzner, 2002) et que le simple

²⁵¹ Relation fonctionnelle entre deux quantités, où un changement relatif d'une ampleur entraîne un changement relativement proportionnel dans l'autre ampleur, quelle que soit la taille initiale de ces quantités : une magnitude varie en tant que puissance d'une autre.

²⁵² Grant, R. M. (2008). *Contemporary strategy analysis* (6th ed.). Blackwell Pub.

fait d'utiliser les techniques et la connaissance de la gestion de projet, sans contrôle et normalisation, entraînera une succession d'erreurs et d'échecs (Kerzner, 2007).

Bien qu'elle n'ait pas fait l'objet d'une étude sur ces travaux, les divers problèmes auxquels Bombardier a dû faire face avec le développement de CSeries démontrent parfaitement que même en ayant une grande expérience dans le développement d'avions exécutifs et régionaux, l'entreprise a échoué dans le lancement de CSeries, qui a dévasté Bombardier, causant une perte de plusieurs milliards de dollars et forçant son contrôleur à vendre des unités d'affaires rentables pour compenser les pertes que le projet a engendrées. Bombardier a vendu le reste de sa participation pour Airbus dans l'A220 pour US\$ 591 millions,²⁵³ le programme QSeries pour US\$ 300 millions et le programme CRJ pour US\$ 500 millions et est à la recherche d'une entreprise pour acheter son exploitation d'avions exécutifs. En plus de se débarrasser de son bras aéronautique, l'entreprise a vendu sa division ferroviaire à Alstom pour US\$ 8,2 milliards en février 2020.²⁵⁴

Depuis le lancement du projet en 2008 jusqu'en 2015, les actions de Bombardier ont perdu plus de 80 % de leur valeur marchande. L'entreprise a accumulé une dette d'US\$ 9 milliards et avait besoin d'un apport du gouvernement de la province du Québec d'US\$ 2,5 milliards.²⁵⁵

Selon Gary Scott, un ancien dirigeant de Boeing, qui a été directeur de la division avions commerciaux de Bombardier de 2004 à 2011, l'entreprise était pleinement consciente des problèmes auxquels Boeing faisait face avec le 787, Bombardier a tenté

²⁵³ Staff CBC, (2020, 13 février). Bombardier exits the commercial plane business, sells remaining A220 stake to Airbus. *CBC*. <https://www.cbc.ca/news/business/bombardier-financial-results-airbus-c-series-1.5462182#:~:text=The%20company%20posted%20an%20annual,%2C%22%20CEO%20Alain%20Belle%20mare%20said>

²⁵⁴ Ellis, P. (2020, 17 février). Bombardier reaches US\$8.2B deal to sell rail unit to France's Alstom. *BNN Bloomberg*. <https://www.bnnbloomberg.ca/bombardier-alstom-close-to-deal-for-rail-unit-source-1.1391440>

²⁵⁵ Ooram, K. (2015, 14 décembre). Bombardier's biggest gamble: How everything went so wrong with the CSeries dream. *Financial Post*. <https://financialpost.com/transportation/bombardiers-biggest-gamble-how-everything-went-so-wrong-with-the-cseries-dream>

d'atténuer tous les risques que le projet posait, mais le défi était encore plus grand qu'ils ne pouvaient faire face.

Selon Owram (2015), les retards dans le projet ont été causés : 1) par le fait que l'entreprise n'était pas préparée aux réactions adoptées par Boeing et Airbus pour faire face à la CSeries ; 2) Pour l'incapacité de Bombardier de gérer correctement la chaîne d'approvisionnement ; 3) En raison des conflits internes dus aux faibles ressources (financières et de main-d'œuvre) et 4) Au manque d'une équipe de vente régionalisée. Bombardier avait de l'expérience et le savoir-faire pour construire un aéronef (exécutif et régional), mais n'avait pas l'expérience nécessaire au développement d'un aéronef narrow-body, dans lequel il intégrerait plusieurs nouvelles technologies (matériaux composites, nouveaux moteurs et co-développement avec les fournisseurs). Une autre erreur grotesque de l'entreprise a été qu'en lançant CSeries, Bombardier développait déjà deux nouveaux projets dans sa division d'avions exécutifs, le Learjet 85 et le Global URL mondiale, seul Learjet 85 consommait US\$ 2,6 milliards en développement et les deux projets ont été abandonnés. Pour une entreprise qui avait des ressources limitées, la décision de toucher 3 projets a simultanément favorisé une guerre interne pour des ressources limitées.

En ce qui concerne les projets Comac et Mitsubishi, est visible le manque de connaissances et de maturité dans les projets aéronautiques. Même avec une forte injection de ressources financières, ses projets sont retardés, ce qui démontre qu'en plus et en ressources, il faut un certain temps pour qu'un nouvel OEM ait besoin d'un certain temps pour créer et développer les processus et les systèmes nécessaires à la maturation des connaissances et des compétences dans la gestion des projets aéronautiques.

Concernant les retards de l'A380, même si Airbus a une grande expérience dans le développement d'avions multi-équipes (jusqu'en décembre 2000, Airbus était formé par un consortium), où chaque équipe (sociétaires associés) concevait et fabriquait les sections

qui étaient assemblées à Hambourg ou Toulouse et que l'A380 a adopté le même processus. Cependant, l'avion avait une particularité qui serait l'une des attraits, la personnalisation des cabines passagers, où les compagnies aériennes avaient la flexibilité de les personnaliser. Cette flexibilité a donné lieu à plusieurs configurations de câblage électrique qui ont été au centre des problèmes qui ont causé les retards. Le problème du câblage électrique de l'avion a été aggravé par l'utilisation de différentes versions du logiciel de conception des dessins par les unités de développement. Cela démontre qu'Airbus n'avait pas d'équipe de projet avec assez de maturité pour gérer le projet, en fait l'absence d'une équipe centrale de projet a été la cerise sur le gâteau pour la continuité du problème de câblage.

En bref, nous constatons que même les OEM expérimentés peuvent démontrer un manque de maturité dans les projets. Les constructeurs doivent avoir une culture organisationnelle qui favorise l'évolution continue et incessante de la connaissance et aussi de l'obtention, conservation et utilisation de la maturité dans la gestion de projet. Ces compétences sont comme des souvenirs de l'organisation, donc, l'apprentissage organisationnel se fait au moyen de perceptions partagées, de connaissances et de modèles mentaux et repose sur des connaissances et expériences antérieures - c'est-à-dire sur la mémoire (Stata, 1989, cité dans Garvin, 2000).

4.4 HYPOTHÈSE 4 : DÉFAILLANCES OU ABSENCE DE COORDINATION DE LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT AÉRONAUTIQUE

Les défaillances ou absence de coordination de la chaîne d'approvisionnement était présente dans 9 des 21 retards (42,86 %) et était responsable de 9 des 46 causes de retard, un indice de 19,57 %. Une donnée qui a surpris est que la recherche a été le fait que les deux plus grands et les plus expérimentés constructeurs aéronautiques ont été touchés dans leurs projets par l'échec de la gestion de la chaîne d'approvisionnement.

Le concept de la chaîne d'approvisionnement se pose après le dégroupage de l'industrie japonaise, avec la nécessité de faire des alliances stratégiques, puisque tous les agents avaient un intérêt commercial commun (Carvalho, 2004, cité dans Ferreira, 2009).

Mentzer, DeWitt, Keebler, Min, Nix, Smith et Zacharia (2001), décrit la SC comme un réseau d'organismes qui interagissent dans divers processus et activités qui fournissent la valeur au consommateur final, livrés sous forme de produits ou de services. Ce réseau d'organisations comprend des fournisseurs de matières premières, de l'industrie, des canaux de distribution (distributeurs, grossistes et détaillants) et des consommateurs finaux. Cette pratique se concentre sur la consolidation de la base des fournisseurs et des clients afin de définir les entreprises avec lesquelles construire un partenariat plus efficace. Il est réalisé par l'identification et l'alignement des compétences, pour une position distinguée face à la concurrence et aux consommateurs finaux (Pires, 2004).

L'échec et l'absence de coordination des fournisseurs ont coûté cher à Boeing le 787, selon Tang *et al.* (2009) :

Comme Boeing a utilisé une structure de SC non conventionnelle pour développer et construire son Dreamliner, il est essentiel pour Boeing de constituer une équipe de direction comprenant certains membres qui ont un dossier de gestion de la chaîne d'approvisionnement éprouvé et une expertise pour prévenir et anticiper certains risques, ainsi que pour élaborer des plans d'urgence afin d'atténuer l'impact de différents types de risques. Toutefois, l'équipe de direction initiale de Boeing pour le programme 787 ne comprenait pas de membres ayant une expertise en gestion des risques liés à la SC.

La SCM implique la coordination et la configuration du processus nécessaire pour rendre les produits disponibles dans des conditions opportunes, reproductibles et satisfaisantes (c'est-à-dire conformes aux exigences du client), (Forker, Mendez et

Hershauer, 1997). Le SCM se compose de pratiques internes, qui sont contenues dans une entreprise, et de pratiques externes, qui traversent les frontières organisationnelles en intégrant une entreprise avec ses clients et fournisseurs (Kaynak et Hartley, 2008).

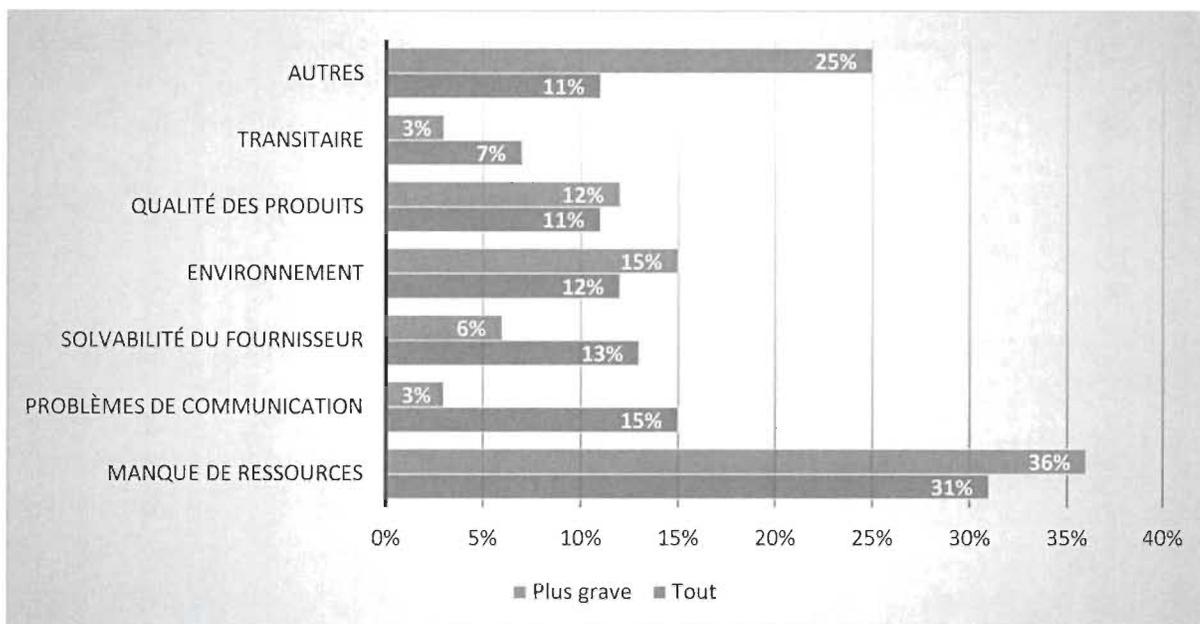
Les entreprises qui visent à rendre leur chaîne d'approvisionnement compétitive doivent intégrer diverses philosophies, techniques ou méthodologies pour avoir la capacité de répondre à des demandes ou des perturbations inattendues avec agilité et efficacité. Des méthodologies telles que Lean, Agile, Resilient et Green (LARG en anglais) qui, combinées à des indicateurs clés de performance (KPI en anglais), peuvent devenir un modèle de processus intégré pour aider l'entreprise à choisir les meilleures pratiques.²⁵⁶

Dans l'étude scientifique de Treuner *et al.*, (2014),²⁵⁷ où un questionnaire a été appliqué à plusieurs entreprises de la chaîne aérospatiale, les répondants soulignent que les principales causes des interruptions de stock plus graves constatées dans la SC sont les contraintes de ressources (par exemple, en termes de main-d'œuvre, de machines ou de matériel), suivi de autres, des événements environnementaux (cause totalement indépendante de la volonté des entreprises), problème de qualité des produits et l'insolvabilité des fournisseurs. Ces causes sont indiquées à la figure 46.

²⁵⁶ Cabral, I., Grilo, A., et Cruz-Machado, V. (2012). A decision-making model for lean, agile, resilient and green supply chain management. *International Journal of Production Research*, 50(17), 4830–4845. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.657970>

²⁵⁷ Treuner, F., Hübner, D., Baur, S. et Wagner, S. (2014). A Survey of Disruptions in Aviation and Aerospace Supply Chains and Recommendations for Increasing Resilience. *Supply Chain Management*. <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mtec/chair-of-logistics-mgmt-dam/documents/practitioner-articles/Treuner%20etal%202014%20A%20survey%20of%20disruptions%20in%20aviation%20and%20aerospace%20supply%20chain.pdf>

Figure 46 - Cause fondamentale de la rupture de stock



Source : Adapté de Treuner *et al.* 2014

Nous soulignons que dans le contexte global, du manque (restrictions) des ressources, des problèmes de communication, de l'insolvabilité des fournisseurs, des événements environnementaux (catastrophes naturelles telles qu'inondations, tremblements de terre, tsunamis, ouragans, etc.) et les problèmes de qualité des produits représentent 82 % des causes de perturbations ou d'interruptions dans la chaîne d'approvisionnement. D'autre part, il est bénéfique que la partie financière, c'est-à-dire une analyse attentive de la santé financière d'un fournisseur, fasse l'objet d'une analyse et d'une vérification de ses données et indicateurs financiers, car entre 6 % et 13 % (solvabilité des fournisseurs) de la rupture de stock sont directement liés à la partie financière des fournisseurs. Il convient de noter qu'il est important de s'assurer que dans le contrat, il y a des clauses et des procédures pour assurer le respect du contrat afin de répondre à son objectif.

À l'exception des événements environnementaux naturels, qui sont indépendants de la volonté des entreprises, mais qui peuvent être prédits comme des risques, toutes les

autres causes sont gérables, par conséquent contrôlables et les OEMs sont responsables de l'intégration et de la gestion de la SC. Mais nous avons constaté que précisément les deux fabricants les plus expérimentés ont échoué dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement des 787 et A380.

Dans 787, la défaillance ou l'absence de coordination du SC, était présente dans 7 des 8 retards, les gestionnaires de programme pensaient avoir une surveillance adéquate des fournisseurs, mais ont appris plus tard que l'entreprise était dans l'ignorance lorsqu'il s'agissait de nombreux détails méconnus. Pour aggraver encore les problèmes, certains des principaux fournisseurs du 787, plutôt que d'effectuer les travaux de conception, déléguée cette affectation à de petites entreprises qui avaient encore moins de connaissances et de compétences pour les responsabilités assumées, le résultat a été l'aggravation du développement de diverses composantes de l'avion. De nombreux fournisseurs ont indiqué que Boeing avait retardé de 3 à 8 mois les spécifications finales des structures et des systèmes (Lunsford, 2007b).

Avec le début de l'appui aux fournisseurs, Boeing croyait que dans quelques semaines les problèmes seraient résolus, et cette vision est restée jusqu'au troisième retard quand il a été pleinement démontré que seul le soutien ne serait pas suffisant pour résoudre les problèmes sous-jacents de certains fournisseurs. À partir de ce moment, la société a dû acquérir le fournisseur le plus problématique (Vought), comme cela a également commencé à se poser les problèmes découlant d'erreurs de conception qui constituaient un nouveau défi pour le projet. Parce qu'en raison de l'externalisation de la conception et de l'ingénierie de divers composants, Boeing n'avait aucune maîtrise de ces composants et a dû recourir à leurs dessins et papeteries techniques, dans de nombreux cas, n'était pas en anglais, exigeant des traductions pour leur compréhension, contribuant aux retards dans la résolution des problèmes.

Boeing a mis longtemps à comprendre que la supervision de la chaîne d'approvisionnement implique une pleine coopération entre les participants, que la coopération peut avoir lieu à différents niveaux [tel que décrit par Cagli *et al.* (2012)]. Le Dreamliner en raison de sa complexité (nouvelles technologies, matériaux et processus) exigerait que Boeing entretienne avec ses fournisseurs une interface interactive et proactive. Un exemple de l'absence de cette interaction a été le sixième retard où des rides microscopiques ont été découvertes dans le fuselage produit par Alenia Aeronautica. Les 23 premiers appareils ont été assemblés avec le fuselage défectueux, ce qui a nécessité l'application de corrections aux fuselages et la suspension de la production pour corriger le problème d'assemblage (Drew, 2009).

Un autre exemple que l'on peut citer de l'absence d'intégration a été le système de surveillance des freins que Boeing a externalisé à General Electric (GE). GE a sous-traité son travail à la société indienne Crave Corporation. Crave a sous-traité la société HCL pour développer une partie du logiciel de surveillance des freins. Au cours de la phase d'essai pour l'homologation du 787, Boeing vérifié qu'il y avait des problèmes avec le système et a demandé la correction pour GE qui a transmis à Crane, qui a corrigé le problème, mais pendant des essais la correction présentait encore des problèmes. Boeing a demandé un nouveau correctif pour GE qui l'a transmis à Crane, ce qui a cette fois refusé. Boeing a intenté une poursuite contre Crane qui a abouti à la condamnation de Boeing à une indemnisation d'US\$ 18,9 millions pour Crane. Enfin, Boeing a décidé de travailler directement avec Crane au lieu d'avoir GE comme intermédiaire dans le développement du système de surveillance des freins (Ostrower, 2009). Ce que nous pouvons tirer de cet événement, c'est que l'excès d'intermédiaires entraîne généralement des défaillances de communication qui entraîne des problèmes de qualité dans un projet.

Afin d'accélérer le processus de résolution des problèmes chez les fournisseurs et constatant que certains d'entre eux ne disposaient pas d'équipements et d'outils adéquats pour résoudre les problèmes, Boeing a demandé l'expédition de structures inachevées. Ce

processus s'est transformé en un grand cauchemar pour le plancher de l'usine de l'entreprise parce que la ligne de production du 787 a été programmée pour assembler l'avion avec 1 200 composants, mais dans certains cas, il est venu à avoir 30 000 composants pour faire l'assemblage de l'aéronef (Eppinger, 2013).

4.5 ANALYSE DES CAUSES DES RETARDS DANS LES PROJETS AÉRONAUTIQUES

L'établissement d'un partenariat est d'une importance fondamentale pour le développement de nouveaux produits dans la chaîne aéronautique, comme le rapport Kotha et Srikanth (2013) : « Habituellement, pour développer des produits ou des services de grande valeur, les entreprises doivent acquérir des connaissances externes et les intégrer efficacement aux connaissances internes (Becker et Zirpoli, 2011 ; Dyer et Hatch, 2006 ; Wadhwa et Kotha, 2006). »²⁵⁸

Avant la pandémie de Covid-19, nous avons une demande croissante de nouveaux avions et la chaîne d'approvisionnement était en difficulté pour fournir des composants, il y avait un retard dans la fourniture de moteurs, de revêtement, forgeage et de pénurie de sièges qui ont ralenti la livraison de divers avions de Boeing et Airbus. Selon Scholnick et Schonland (2018, cité dans Garcia, 2018) qui ont consulté plusieurs fournisseurs, on craint qu'une production supérieure à 70 appareils par mois d'un fabricant soit le point de rupture maximal pour les métaux utilisés dans la fabrication de composants.²⁵⁹ Le crash de la fabrication d'aéronefs survenu avec la pandémie est l'occasion pour la chaîne

²⁵⁸ Kotha, S., & Srikanth, K. (2013). Managing a global partnership model: lessons from the Boeing 787 'dreamliner' program: managing a global partnership model. *Global Strategy Journal*, 3(1), 41–66. <https://doi.org/10.1111/j.2042-5805.2012.01050.x>

²⁵⁹ Garcia, M. (2018, 13 août). Demand Tests Supply Chain at Airbus and Boeing, With Tariff Impact Uncertain. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/marisagarcia/2018/08/13/demand-tests-supply-chain-at-airbus-and-boeing-with-tariff-impact-uncertain/#4ba52700d036>

d'approvisionnement d'ajuster sa capacité de production à la demande et ainsi d'atténuer les problèmes futurs de pénurie de matériaux et de pièces pour la fabrication d'avions.

Selon Suchandra (2018), le retard de 787 est dû à 5 faits : a) Problèmes attribuables à la chaîne d'approvisionnement non conventionnel ; b) Contraintes incorporées dans la batterie lithium ion ; c) Manque de pièces de fixation ; d) Problèmes techniques liés à la fibre de carbone ; e) Grèves.²⁶⁰ Nous sommes d'accord avec son point de vue, mais nous observons que dans le cas de l'absence des fixateurs, le problème s'est produit en raison de la faible demande initiale de ce composant, ce qui n'a pas permis la priorité du fabricant de produire plus de quantités pour répondre à la demande, accompagnée de spécifications peu claires de l'installation des fixateurs (Gates, 2008b). Si Boeing avait bien géré la SC dès le début, cela ne se produirait pas ou serait atténué.

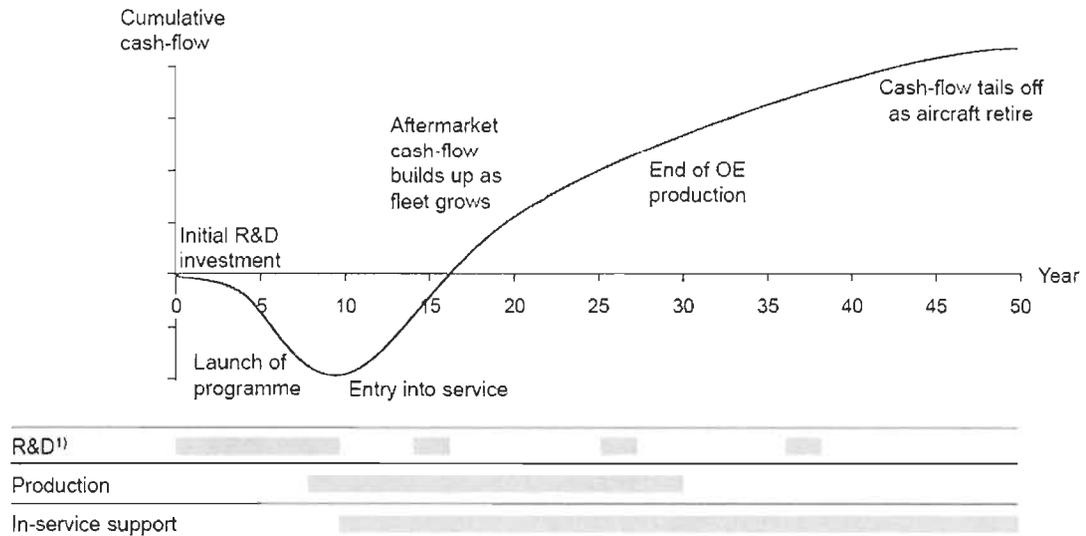
En moyenne, il faut de cinq à dix ans pour développer un avion et environ 10 à 18 ans pour que cette nouvelle ligne devienne rentable (Niosi et Zhegu, 2008, cité dans Henriques Santos, 2017).

La figure 47 montre le cycle de vie d'un nouveau programme d'aéronefs. Les produits de l'industrie aéronautique sont conçus pour avoir un long cycle de vie, un exemple est le modèle 737 qui a été lancé en 1966 (voir tableau 20), ayant une longévité de 54 ans. Même après la fermeture de la production d'un modèle, il continue d'être utilisé pendant longtemps par les compagnies aériennes ou de fret. Le 727 a vu sa production fermée en 1984, mais l'avion a été utilisé jusqu'en 2019 par une compagnie aérienne²⁶¹ et continue d'être utilisé par les compagnies de fret aérien.

²⁶⁰ Suchandra, P. (2018). Crisis in Boeing 787 Dreamliner: An Investigation from Project Management Control Perspective. *International Journal of Human Resource Studies*. 8. 242. 10.5296/ijhrs.v8i4.13805.

²⁶¹ Coffey, H. (2019, 15 janvier). Last Boeing 727 Passenger Plane Makes Its Final Flight. *Independent*. <https://www.independent.co.uk/travel/news-and-advice/boeing-727-plane-last-flight-iran-asean-airlines-zahedan-tehran-airport-a8728926.html>

Figure 47 - Cycle de vie d'un nouveau programme d'avion



Source : Roland Berger Strategy Consultants

Une autre donnée visible est la nécessité d'un investissement initial important dans le développement d'un avion et le rendement du montant investi se produit autour de 15 à 17 ans. Pour maintenir la production pendant une longue période, une quantité minimale de commandes (fermes) est nécessaire, qui varie en fonction du montant investi dans son développement, combiné avec le coût de fabrication. C'est pourquoi un retard dans le développement d'un aéronef est néfaste pour votre projet, car les retards se traduisant par des dépenses et des coûts plus élevés et la nécessité d'une plus grande quantité d'aéronefs pour obtenir le retour sur investissement. De cette façon, les OEMs lancent un nouveau produit tous les 10 ans.

Tableau 20 - Tableau de lancement et de fermeture de la production d'avions

Constructeur	Modèle	Production		Quantité fabriquée
		Début	Fin	
Airbus	A300	1974	2007	561
	A310	1983	1998	255
	A320	1988	--	9693
	A330	1994	--	1511
	A340	1993	2011	377
	A350	2015	--	406
	A380	2007	2021	243
Boeing	707	1956	1978	865
	727	1963	1984	1832
	737	1966	--	10614
	747	1968	2021	1558
	757	1981	2004	1050
	767	1981	--	1200
	777	1993	--	1653
	787	2007	--	992
Embraer	ERJ 135	1999	2020	1231
	ERJ 140	2001		
	ERJ 145	1996		
	E170	2004	--	191
	E175	2005	--	645
	E190	2005	--	579
	E195	2006	--	180

Le tableau 20 montre le début, la fermeture de la production et la quantité fabriquée d'un aéronef. Comme nous l'avons dit précédemment, le cycle de vie d'un avion va au-delà de la fermeture de sa production, mais même avec la limitation de la période de production, il convient de noter que l'A380 a présenté le cycle de production le plus court, avec 14 ans, la durée moyenne de production des 22 modèles est de 24,10 ans. Cela renforce combien le projet a été désastreux pour Airbus. Certains experts affirment que

l'A380 est en avance (d'au moins 10 ans) en raison du fait que l'avion est surdimensionné pour le besoin actuel de voyages en avion. S'opposant à l'affirmation selon laquelle l'A380 était en avance sur le temps en 2019, Tom Enders, le PDG d'Airbus a déclaré : « Il y a eu des spéculations que nous étions 10 ans d'avance ; je pense qu'il est clair que nous avons 10 ans de retard » (Newell, 2019).

Dans le cas du 787, l'impartition n'est pas à l'origine des retards que le projet a présentés. Les retards sont survenus parce que Boeing n'a pas agi dans la coordination de la chaîne d'approvisionnement du projet et, pour contribuer à l'aggravation des retards, il y a eu un échec dans la sélection de certains fournisseurs, qui ne disposaient pas des capacités techniques et des connaissances nécessaires pour développer et fabriquer les composants et assembler les grandes sections. Si l'entreprise avait fait des efforts pour mieux évaluer ses fournisseurs stratégiques, les retards potentiels du projet auraient été évités ou réduits. Jim McNerney, PDG de Boeing, a admis qu'il y avait eu des excès dans l'externalisation du 787 et qu'elle ne serait pas répétée : « Nous ne procéderions pas exactement de la même façon », a déclaré-t-il. « Il y a beaucoup de reproches à faire. Ce n'est pas seulement la faute de nos fournisseurs. C'est aussi la nôtre dans bien des cas. »²⁶² Cependant, nous soulignons que l'accent mis sur l'externalisation du 787, visait exclusivement à réduire les coûts de développement (en raison de sa financiarisation). En 2011, lorsque Boeing a finalement livré son premier 787, McNerney a admis « Rétrospectivement, notre plan de jeu 787 était peut-être trop ambitieux, intégrant trop de premières à la fois - dans l'application de nouvelles technologies, dans des processus révolutionnaires de conception et de construction et dans un sourcing mondial accru de contenu d'ingénierie et de fabrication »,²⁶³ décrivant ainsi l'échec du processus décisionnel adopté par Boeing pour le 787.

²⁶² Peterson, K. (2009, 22 septembre). Boeing 787 delays cast hard light on outsourcing. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-boeing-outsourcing-analysis-idUSTRE58L4CS20090922>

²⁶³ Peterson, K. (2011, 20 janvier). Special Report: A wing and a prayer: outsourcing at Boeing. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-boeing-dreamliner-idUSTRE70J2UX20110120>

Comme une comparaison de l'échec dans le processus décisionnel initial de 787, nous citons l'Airbus A350 neo (XWB), qui a été conçu pour être la réponse de la compagnie au 787. Tout comme son rival il y aurait une grande utilisation de matériaux composites dans sa structure, totalisant 53 % (Wall, 2008, cité dans Slayton et Spinardi, 2015) et qui n'a pas présenté les mêmes problèmes dans la chaîne d'approvisionnement vérifiée dans le Dreamliner. Cependant, il y eut une différence cruciale entre les deux compagnies, tandis que le 787 a été conçu pour que les fournisseurs stratégiques assemblent plusieurs parties de l'avion en grandes sections (tout comme Airbus procédait avec ses avions), Airbus a décidé d'effectuer l'assemblage du fuselage de l'A350 de manière traditionnelle, en appliquant le matériau composite dans une structure métallique. Cette décision a été prise en 2006 avant que les retards du Dreamliner ne soient vérifiés, de sorte que l'échec du processus décisionnel, influencé par la culture de financiarisation, constituait le début des problèmes auxquels le projet serait confronté. Toutefois, nous soulignons que même face à ce scénario initial, d'autres erreurs ont continué de se produire. Boeing n'a pas coordonné la chaîne d'approvisionnement du projet, l'échec et/ou l'absence de coordination de la SC ont causé des erreurs de conception chez certains fournisseurs qui n'avaient pas suffisamment de maîtrise des connaissances et de maturité dans les projets pour assumer les responsabilités qui leur avaient été déléguées.

Lorsque nous vérifions les retards du 787, l'impression initiale est que les retards sont dus à une défaillance des fournisseurs, mais en vérifiant l'historique de la conception de l'avion, nous constatons que les retards des fournisseurs sont un reflet des causes rapportées dans le paragraphe ci-dessus. Adams (2007, cité dans Hui, Davis-Blake et Broschak, 2008) rapporte que les questions de coordination et de contrôle de la division du travail et des responsabilités au-delà des frontières organisationnelles sont à l'origine de la pléthore de défaillances survenues en 787, en raison du faible contrôle sur les activités que Boeing a externalisées.

Lorsque Boeing a constaté qu'il était nécessaire d'améliorer son rôle dans la coordination de la chaîne de fournisseurs en assumant la responsabilité de la coordination et de la planification du 787, le programme a subi une transformation de la dynamique. Au départ, il y avait une diminution de l'avancement du projet, des calendriers qui ne représentaient pas la situation réelle de progrès de celui-ci, étant des ajustements constants nécessaires, démontrant le manque de connaissance du projet, découlant de manquements dans la coordination et l'intégration de la chaîne d'approvisionnement. C'est-à-dire que Boeing n'avait pas la connaissance des divers problèmes auxquels chaque fournisseur était confronté ou, quand il l'avait, ne possédait pas la perception réelle de l'ampleur des problèmes, qui impliquait plusieurs facteurs, tels que les procédures, les processus et les techniques qui ont été exécutés par les fournisseurs. Comme Ostrower (2009) l'a signalé : « Les responsables du programme affirment que les deux dernières années ont non seulement été consacrées aux questions de production, mais aussi à la révision de la conception de nombreuses parties de l'avion pour améliorer la maturité des systèmes. »²⁶⁴ En d'autres termes, le fait d'avoir de l'information ou de la visibilité aurait permis à Boeing de prévoir les éventualités de la chaîne d'approvisionnement, et non seulement d'y réagir (Kotha et Srikanth, 2013).

Selon Albaugh, Boeing souhaite reprendre en interne une partie des travaux externalisés dans la SC du 787 originale afin de s'assurer que l'entreprise conserve une connaissance détaillée de la conception et de la construction de structures clés. L'empennage horizontal, aussi appelé stabilisateur, en fait partie. « Nous devons en savoir autant sur tous les aspects de ce programme que sur notre chaîne d'approvisionnement. Il y a certains éléments dont nous devons prendre le contrôle », a déclaré M. Albaugh.²⁶⁵

²⁶⁴ Ostrower, J. (2009, 5 juin). PARIS AIR SHOW: Realising the 787 dream. *Flight Global*. <https://www.flightglobal.com/paris-air-show-realising-the-787-dream/86858.article>

²⁶⁵ Denning, S. (2013b, 21 janvier). What Went Wrong at Boeing? *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/stevedenning/2013/01/21/what-went-wrong-at-boeing/#3ded253e7b1b>

Pour référencer la déclaration de Albaugh, selon Elahi *et al.*, (2014) l'industrie aérospatiale, et en particulier l'aviation commerciale, a une courbe d'apprentissage très abrupte en raison de l'extrême complexité des produits. Autrement dit, le premier avion d'un nouveau modèle coûte beaucoup plus cher que le dixième, par exemple, parce que les processus peuvent être considérablement améliorés en apprenant à faire les choses correctement. Ainsi, nous avons vu que Boeing n'a pas pris en compte la question de la propriété intellectuelle et que cette propriété intellectuelle est une compétence essentielle dans la coordination de diverses compétences productives et l'intégration de flux technologiques multiples. Boeing a toujours eu au cœur le domaine détaillé de l'ingénierie, de la technologie et de l'assemblage des composants avioniques, mais en raison de sa financiarisation (qui était plus préoccupée par les profits à court terme), elle a délégué le domaine, et donc, l'apprentissage de plusieurs technologies clés du 787. Selon Granstrand, Patel et Pavitt (1997, cité dans Elahi *et al.*, 2014) « les entreprises devraient essayer de créer un portefeuille de compétences pour rester compétitives. Cependant, la création d'une nouvelle compétence ne doit pas entraîner la destruction ou l'affaiblissement d'autres compétences technologiques « distinctives » ou « essentielles ». En externalisant l'ingénierie, la fabrication et l'assemblage des principales sections du Dreamliner, Boeing a permis à ses fournisseurs d'apprendre des compétences à haute valeur ajoutée, car les fournisseurs ont fait des investissements dans le développement des composants et en sont donc propriétaires. S'il y avait suivi les exemples de Toyota, Volkswagen et Embraer, ainsi que les études de 2 de ses ingénieurs, Hart-Smith (2001) traitant des conséquences de l'externalisation excessive et Sorscher (2001) rapportant le danger de la financiarisation sans limites, sûrement le projet du 787 aurait été plus efficace et efficiente.

Il convient de noter que le modèle de développement du 787 a permis à plusieurs fournisseurs d'innover dans leurs produits. Avant le Dreamliner, Boeing envoyait une fiche technique qui était un tremplin de données techniques, de dessins et de normes. Le fournisseur devait fabriquer le produit en suivant exactement les instructions contenues

dans le document, sans aucune marge de manœuvre ou suggestion de changements qui aboutiraient à un meilleur produit. Avec la flexibilité qui s'est produite dans le 787, Hamilton avait une plus grande liberté pour élaborer les composants de l'avion et, a réussi à avoir deux systèmes être développés 20 % plus petit, résultant en une composante de poids inférieur et à libérer de l'espace dans le ventre de l'avion pour le transport de marchandises (Gudmundsson, 2017).

Sans vouloir entrer dans une analyse sémantique et philosophique entre le motif et la cause, qui sont communément considérés comme des mots synonymes, nous utiliserons la définition suivante pour être en mesure de nous aider : le mot motif signifie « ce qui met en marche, ce qui meut » ; déjà le mot cause signifie « l'origine d'un acte. » Le retard de certains fournisseurs dans l'expédition de pièces ou des sections a été la raison de la plupart des retards survenus dans le Boeing 787, qui a eu pour cause (origine) de la défaillance du constructeur dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement. Boeing a transmis toute la responsabilité de la planification, du développement et de la construction de divers composants de l'avion à ses fournisseurs intégrateurs, sans les avoir formés, contribuant de manière décisive aux problèmes de retard et de qualité des composants et aux problèmes qui se sont posés lors de la mise en service de l'avion. Il convient de souligner que la connivence et l'omission de la FAA lors de l'homologation du Dreamliner ont contribué aux problèmes rencontrés lorsque l'avion a été mis en service.

Le 787 a présenté un tournant total dans la culture que Boeing a construit, en fait, la société a développé sa réputation dans le segment aéronautique comme étant une entreprise d'ingénierie axée sur la performance de ses produits. Mais après la fusion avec MD, il y eut un changement dans la direction de la compagnie où la culture qui a conduit à son succès a été supplantée par une directive visant à la financiarisation et aux intérêts des actionnaires. Ce nouveau mode opératoire de la haute direction de l'entreprise s'est concentré sur la réduction et la coupe des coûts, qui est nécessaire et primordiale pour que les entreprises survivent et qui, si elle est bien planifiée et exécutée, permet la réalisation

d'un processus d'amélioration continue, d'une plus grande productivité, d'innovation, de qualité et de sécurité. Les divers problèmes de planification, de production et post-lancement de 787 combinés à l'échouement du 737 MAX illustrent explicitement que la nouvelle culture financière adoptée par Boeing n'a pas été correctement planifiée et encore moins bien exécutée, ce qui a conduit l'entreprise à une situation critique en termes financiers et surtout en termes de fiabilité. Ce qui nous intrigue, c'est qu'à nouveau, un éminent collaborateur de l'entreprise, Stan Sorscher, physicien qui a travaillé pendant 20 ans chez Boeing, a élaboré en 2001 un article où il a abordé le risque que la financiarisation pourrait causer et a proposé une feuille de route pour réconcilier les deux cultures.²⁶⁶ Selon Sorscher (2019) entre 2012 et 2018, Boeing a détourné 92 % de ses flux de trésorerie d'exploitation vers des dividendes (US\$ 17,513 milliards) et le rachat d'actions (US\$ 40,790 milliards) au profit de ses investisseurs.²⁶⁷ En analysant ses rapports financiers entre 2000 et le premier semestre de 2020, la société a utilisé US\$ 59,304 milliards de sa trésorerie pour racheter des actions, comme comparaison sur la même période, Airbus n'a utilisé que US\$ 5,128 milliards pour le rachat de ses actions. Au lieu d'utiliser les ressources pour racheter des actions, Boeing aurait pu utiliser ces valeurs pour financer de nouvelles technologies ou dans un nouveau modèle d'avion. Sorscher (2019) souligne que Boeing est une entreprise de produits axée sur la performance et n'est pas une entreprise de produits de base.

Le segment aéronautique présente une évolution commerciale impressionnante depuis la popularisation des voyages aériens, ses produits ont évolué technologiquement et principalement en termes de sécurité. Cependant, les deux accidents que le 737 MAX a subis en raison du système de correction de vol connu sous le nom Maneuvering Characteristics Augmentation System - Système d'augmentation des caractéristiques de

²⁶⁶ Sorscher, S. (2001). Challenge in Aerospace Leadership. Needed: A Strategy that Makes Sense for all Boeing Stakeholders. *SPEEA Business Critique*. https://www.speea.org/new_temp_items/SPEEA_Challenge_in_Aerospace_Leadership.pdf

²⁶⁷ Sorscher, S. (2019, 5 juillet). What will it be, Boeing? Great airplanes that generate cash flow or great cash flow, period? *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/opinion/what-will-it-be-boeing-great-airplanes-that-generate-cash-flow-or-great-cash-flow-period/>

manœuvre (MCAS), (nous suggérons de consulter des rapports d'organismes de réglementation et des articles de la presse spécialisée pour vérifier pourquoi le MCAS a été la cause des accidents), a brisé la crédibilité que le 737 avait acquise en tant qu'un avion fiable et sûr et renforce l'importance que le segment aéronautique doit suivre les normes de sécurité et la certification correcte de ses produits.

Selon Portugal (2017) :

Dans les organisations, nous avons six variables de base : tâche, structure, personnes, technologie, environnement et compétitivité. Le comportement de ces variables est systémique et complexe : chaque variable influence et est influencée les unes par les autres. Les changements dans une variable ont des effets dans une plus ou moins grande mesure dans les autres variables. Le comportement de l'ensemble de ces variables diffère de celui de chaque variable prise isolément.²⁶⁸

Donc, lorsqu'une entreprise comprend et domine ces six variables, elle a une stratégie cohérente sur la façon de créer et de soutenir la culture organisationnelle, son infrastructure, ses compétences techniques et l'autorité de gérer des projets complexes. Les programmes d'avion sont des projets complexes, pour les OEMs, le domaine de la gestion de projets aéronautiques est un différentiel qui permettra de créer un environnement de croissance durable du développement et de continuité de l'organisation.

Il convient de noter que même si la rupture de stock n'a été coresponsable que de l'un des retards (sixième retard du 787 – absence de moteur), pendant le cycle de vie du 787 et de l'A380, il y a eu des retards dans la livraison de certains appareils en raison du manque de composants. Par exemple, entre la fin de 2014 et le premier trimestre de 2015, le fournisseur de sièges du 787 a retardé la livraison de certains lots de sièges de première classe et, un problème de qualité avec un composant du moteur GEnx a retardé la livraison

²⁶⁸ Portugal, A. (2017). *Teoria Geral da Administração I*. (1e éd.). Aiamis.

de 29 unités motrices à Boeing.²⁶⁹ Airbus a dû retarder la livraison de certaines unités de l'A380 jusqu'à ce que Emirates résolve les problèmes de performance des moteurs avec le fabricant Rolls-Royce. Ces exemples démontrent que même s'il y a eu des retards ponctuels, ils ont compromis pour une période la production du modèle, nous soulignons que la coordination de la chaîne d'approvisionnement est un processus continu tout au long du cycle de vie du produit.

Le succès de Toyota dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement se mesure en grande partie à son efficacité à faciliter les transferts de connaissances explicites (informations facilement assimilables) et tactiques (savoir-faire) entre les entreprises. Le transfert de connaissances peut se produire lorsqu'il existe des différences de compétences entre partenaires, ainsi que lorsque les entreprises font preuve de connaissances similaires (Bortolotti, Romano, Martínez-Jurado et Moyano-Fuentes, 2016).

Basé sur la théorie des contingences structurelles,²⁷⁰ Hui *et al.*, (2008), a fait valoir qu'en raison de l'interdépendance élevée des activités dans les phases complexes du projet, les entreprises externalisées souffrent d'un manque de maîtrise des activités et, à ce titre, font face à des défis en matière de contrôle et de suivi [comment et quoi], ce qui entraîne de piètres performances.

²⁶⁹ Trimble, S. (2015, 22 avril). Boeing 787 unit loss declines, but deferred costs rise. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/boeing-787-unit-loss-declines-but-deferred-costs-rise/116629.article>

²⁷⁰ Selon Donaldson (2018) : La théorie de la contingence structurelle soutient « qu'il n'y a pas de meilleure façon », ce qui signifie qu'aucune structure ou type structurel n'est idéal pour toutes les organisations. Au lieu de cela, la structure la plus efficace est celle qui s'adapté à certains facteurs, appelés contingences. Ainsi, l'efficacité d'une structure dépend de la mesure dans laquelle elle correspond aux contingences (par exemple : degré d'incertitude quant à l'environnement de l'organisation, à la stratégie organisationnelle et à la taille de l'organisation).

4.6 RÉPONSE AUX QUESTIONS DE RECHERCHE

Pour conclure la discussion sur les résultats de la recherche, nous procéderons à la procédure de réponses aux six questions réalisées dans la présente étude. Les réponses seront succinctes, car elles sont bien expliquées en détail au cours de l'étude.

1. Pourquoi des retards importants sont-ils ou se produisent-ils dans les nouveaux projets d'avions ?

Comme le montre la figure 43, les retards survenus dans les projets ont eu pour cause principale le manque des connaissances et de la maturité des projets, et la deuxième cause était des erreurs de conception de projet et des échecs dans le processus décisionnel. En troisième position, la cause était les défaillances ou absence de coordination de la chaîne d'approvisionnement et enfin d'autres causes comme expliqué à la page 205.

2. Ces retards sont-ils dus à des erreurs de conception dans le projet ?

Oui, 16 retards ont été causés par des erreurs de conception des projets.

3. Les retards sont conséquence de mauvaises décisions ?

Oui, comme expliqué dans le travail tant les aspects théoriques et pratiques, tous les retards sont dus à des erreurs dans la prise de décision.

4. Les retards peuvent-ils être attribués à un manque d'expérience et de connaissance de l'OEM ou de ses fournisseurs ?

Oui, le manque de connaissance a entraîné des retards dans les projets et ils ont eu lieu aussi bien chez les OEM que chez les fournisseurs.

5. À quels rangs de la chaîne d'approvisionnement y a-t-il eu des défaillances qui ont entraîné des retards dans le projet ?

Les causes des retards étaient principalement liées à des défaillances (décisions, coordination) des OEM et à des défaillances des fournisseurs du Rang 1 et 2.

6. Pourraient-ils être évités ? Si c'est le cas, comment ? Sinon, si des événements imprévus ont causé les retards, quelles mesures les équipementiers pourraient-ils prendre pour atténuer leur occurrence ou les effets ?

Oui, toutes les erreurs qui sont survenues dans les projets auraient pu être évitées si les OEM avaient été prompts et proactifs dans l'évaluation des premiers signes de difficultés démontrés par le projet et de cette façon, quelques retards auraient ainsi été évités. Un autre facteur qui aurait pu éviter les retards est d'avoir une équipe ayant de l'expérience et de l'expertise dans des projets complexes. Un événement imprévu est quelque chose que la société ne contrôle pas (crise économique, catastrophe naturelle, guerre civile, etc.) et en aucun cas les retards ont été dus à des événements imprévus, ce qui manquait en fait était un processus de gestion des risques dans les projets.

CONCLUSION

Les constructeurs aéronautiques savent à quel point le processus de développement et de fabrication d'aéronefs est un projet complexe. Un avion à planifier et à construire implique des lois de la physique ; de la technologie ; de la chaîne d'approvisionnement ; des personnes ayant des connaissances et des compétences pour effectuer de nombreuses tâches quotidiennes avec efficacité et coordination ; du partenariat entre les entreprises impliquant l'intégration, de la coopération et la communication fluide et de nombreux autres facteurs, qui, lorsqu'ils sont bien travaillés, aboutit à des produits qui répondent aux besoins des clients (compagnies aériennes et passagères) et aux objectifs du constructeur. C'est-à-dire qu'un projet d'avion nécessite une interaction entre les équipes multifonctionnelles internes et externes, où une communication efficace et efficiente est critique et stimulante.

Une fois qu'une entreprise comprend clairement le risque de sa chaîne d'approvisionnement, elle peut sélectionner l'approche d'atténuation générale appropriée et la stratégie sur mesure spécifique (Chopra et Sodhi, 2004).

L'industrie automobile est une excellente source et un vaste laboratoire pour l'industrie aérospatiale, diverses méthodologies, techniques, processus et concepts peuvent servir de base et être adaptés aux caractéristiques particulières du segment aérospatial. Toyota est le plus grand exemple de la façon de faire un processus de partenariat pour rationaliser et diminuer les coûts de développement et de fabrication qui sont applicables à tous les secteurs économiques.

La maturité est définie par Grebici, Goh, Zhao, Blanco et McMahon (2007, cite dans Johansson, Hicks, Larsson et Bertoni, 2011) comme « un compromis entre l'incertitude cible et l'incertitude prévue. »

Comme on l'a vu au cours de la présente étude, des retards se sont produits au cours des projets en raison de plusieurs facteurs. Dans tous les cas, il y avait des alternatives d'atténuation (actions pour prévenir ou diminuer les effets d'un événement nuisible) ou des mesures de contingence (mesures prises en cas d'événement) qui ont été ignorées. Nous vérifions que les projets ont été affectés par le manque de connaissances et de maturité des projets, notamment pour Mitsubishi et Comac. L'incertitude est associée à un manque de connaissances suffisantes pour prendre une décision (Jun, Qiuzhen et Qingguo, 2011, cité dans Vieira *et al.*, 2017). Déjà les conceptions d'avions qui ont eu lieu dans les constructeurs Airbus et Boeing, qui avaient des connaissances et de la maturité dans la gestion de projets aéronautiques, il y avait un échec grotesque de la haute direction ou de l'équipe de gestion de projet dans les décisions prises. La prise de décision est un facteur crucial pour la performance actuelle et future d'un projet et en fonction de l'importance de ce projet pour l'avenir de l'entreprise. Le processus décisionnel comporte des éléments tangibles et intangibles, en termes neuropsychologiques, il s'agit d'un processus cognitif soumis à des analyses émotionnelles et rationnelles basées sur nos expériences passées, compte tenu des risques et de leurs implications pour le présent et pour l'avenir (Bechara, Damásio, Tranel et Damásio, 1997). C'est-à-dire, dans le processus décisionnel, nous choisissons intuitivement ou analytiquement (Saaty, 1991), parmi plusieurs alternatives qui sont les meilleures décisions à prendre. La prise de décision comporte des risques et des incertitudes. Le risque est associé à la probabilité qu'un événement se produise, tandis que l'incertitude ne permet pas de prévoir la survenance d'un événement. Le risque est associé à une décision déjà prise, ou à la conséquence de cette décision (Vieira *et al.*, 2017).

Mintzberg (2016) définit de manière simple et objective la prise de décision : « Ce n'est pas ce que nous pensons. C'est aussi ce que nous voyons. Et ce que nous faisons aussi. »

Un autre aspect qui a contribué aux retards dans 3 des 4 entreprises étudiées est la complexité de la fusion des entreprises, Comac provient d'un consortium. Après l'acquisition de MD, Boeing a entamé un processus de modification de sa culture et Airbus qui a été formé par un consortium des principales entreprises aéronautiques européennes avec une myriade culturelle démontrent la complexité de fusionner les différents styles de gestion, les différentes cultures organisationnelles et même les systèmes informatiques dans une nouvelle organisation homogène, de sorte que la rupture de divers paradigmes est nécessaire pour une harmonisation de ces composants, pour le succès des projets et par conséquent, de l'entreprise.

La gestion de projet implique la planification, l'exécution et le contrôle des activités et des personnes afin d'obtenir un résultat précis. La principale qualité de la gestion de projet est sa capacité à reconnaître les événements qui ont poussé le projet à s'écarter du cours et à agir de sorte que l'écart soit corrigé. Cette compétence nous pouvons nommer comme maturité dans la gestion de projet. Par conséquent, la gestion de projet implique un amalgame de systèmes techniques et de systèmes comportementaux, couvrant et étant influencé par des facteurs environnements internes et externes ayant des relations intra-organisationnelles et interorganisationnelles qui interagissent les uns avec les autres, de cette façon, les projets sont un ensemble de processus complexes qui nécessitent une gestion constante. Toute cette dynamique doit être correctement intégrée et bien menée pour fournir les conditions nécessaires à la réussite des projets dans n'importe quelle entreprise, indépendamment de sa taille et/ou le segment économique auquel elle appartient.

Analogiquement, nous pouvons comparer les entreprises avec le corps humain, la base de tout le corps humain est les cellules (personnes) qui s'organisent et forment les tissus (secteurs dans les entreprises), qui organisent et forment les organes (départements), les différents organes qui effectuent des fonctions interdépendantes forment un système (directoire) et l'assemblage de plusieurs systèmes forme un organisme (entreprise). Le

corps humain et les entreprises sont des organismes complexes, selon Simon (1962, cité dans Kornberger et Clegg, 2003) :

Un système complexe est constitué d'un grand nombre de parties qui interagissent de façon non linéaire. Dans de tels systèmes, le tout est plus que la somme des parties, non pas dans un sens métaphysique ultime, mais dans le sens pragmatique important que, compte tenu des propriétés des parties et des lois de leur interaction, il n'est pas trivial de déduire les propriétés du tout.

Plus précisément en ce qui concerne les projets de nouveaux avions qui sont constitués par une grande mosaïque de connaissances, de lois et d'environnements qui interagissent et les rendent complexes, il est vérifié que Embraer a été en mesure de développer les programmes aéronautiques dans les délais et les valeurs prévues, démontrant que même étant un projet complexe, les constructeurs aéronautiques peuvent répondre aux exigences nécessaires pour bien gérer le projet d'un nouvel avion. Même si Boeing et Airbus ont échoué dans leurs projets (787 et A380), les compagnies en ont déjà développé d'autres qui ont réussi (777 et A350, respectivement) et réunissent donc ces conditions. Dans le cas de Comac et Mitsubishi, ils continuent d'avancer dans la courbe d'apprentissage et la maturité des projets aéronautiques pour devenir un équipementier solide, et s'ils ont eu la bonne discipline et la résilience, ils peuvent également réunir les prémisses de base pour réussir.

Malgré les difficultés et les limites d'obtention des sommes dépensées pour les OEMs dans le développement des quatre projets d'avions évalués dans cette étude, nous avons constaté qu'Airbus a dépensé US\$ 22 milliards pour développer l'A380, Boeing autour d'US\$ 27,5 milliards (estimation moyenne), Comac a déboursé environ US\$ 30 milliards pour le développement du C919, et Mitsubishi a investi environ US\$ 7,3 milliards. Ensemble ces montants composent US\$ 86,8 milliards d'investissement, et malheureusement, très probablement cette valeur ne serait pas récupérée (dans le cas de

l'A380 et SpaceJet M90), déjà pour le C919 et le 787 il y a une possibilité de récupération de ces valeurs au fil des ans. À titre de comparaison, le montant investi même si sans la correction de l'inflation, si on le compare au PIB des pays, placerait cet investissement comme la 94^e économie mondiale, avec les données d'octobre 2020 (entre le Paraguay 93 plaçant avec US\$ 90,7 milliards et la Slovénie 94 plaçant avec US\$ 79,7 milliards).²⁷¹

Pour conclure, nous soulignons que la gestion de projets d'aéronefs, bien qu'elle soit complexe et laborieuse, se résume en seulement quatre processus, auxquels Peter Drucker a défini la science de l'administration « L'administration est un processus opérationnel composé de fonctions qui sont la planification, l'organisation, la direction et le contrôle. La planification ne concerne pas les décisions futures, mais les répercussions futures des décisions présentes. »²⁷²

²⁷¹ Workman, D. A. (2020, 14 octobre). Top 100 Richest Countries by GDP. <https://richestcountryreports.com/top-100-richest-countries-by-gdp/>

²⁷² Mendes, T. (2019, 24 juillet). Conheça Peter Drucker, considerado o “pai” da Administração moderna. *Na Prática.org*. <https://www.napratica.org.br/peter-drucker-pai-da-administracao-moderna/>

RÉFÉRENCES

Aboulafia, R. (2016, 6 juin). Airbus A380: The Death Watch Begins. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/richardaboulafia/2016/06/06/airbus-a380-the-final-countdown/?sh=2cbfbc06553d>

Admin (2006, 11 avril). Airbus – A380. *Why Projects Fail?* <http://calleam.com/WTPF/?p=4700>

Agence France-Presse (2020, 25 avril). Boeing renonce à racheter les activités civiles d'Embraer. *TVA Nouvelles*. <https://www.tvanouvelles.ca/2020/04/25/boeing-renonce-a-racheter-les-activites-civiles-dembraer>

Airbus Press Release (2006b, 21 décembre). Qantas signs firm order for eight additional A380s. *Airbus*. <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2006/12/qantas-signs-firm-order-for-eight-additional-a380s.html>

Airbus Press Release (2006a, 3 octobre). Airbus confirms further A380 delay and launches company restructuring plan. *Airbus*. <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2006/10/airbus-confirms-further-a380-delay-and-launches-company-restructuring-plan.html>

Al-Hattab, M. et Hamzeh, F. (2015). Using social network theory and simulation to compare traditional versus BIM–lean practice for design error management. *Automation in Construction*. 52. 59–69. 10.1016/j.autcon.2015.02.014.

Allworth, J. (2013, 30 janvier). The 787's Problems Run Deeper Than Outsourcing. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/2013/01/the-787s-problems-run-deeper-t>

Argote, L., & Epple, D. (1990). Learning curves in manufacturing. *Science* (New York, N.Y.), 247 (4945), 920–4.

ATSB (2013). In-flight uncontained engine failure Airbus A380-842, VH-OQA, overhead Batam Island, Indonesia, 4 November 2010. *ATSB*. https://www.atsb.gov.au/publications/investigation_reports/2010/AAIR/AO-2010-089.aspx

Aviation Benefits Beyond Borders (October 2018). Powering global economic growth, employment, trade links, tourism and support for sustainable development through air transport. *ATAG*. https://aviationbenefits.org/media/166344/abbb18_full-report_web.pdf

Barbieri, M., Araújo, R. D., Mello, C. H., Marques, R. (2008). Relatório de Acompanhamento Setorial Indústria Aeronáutica - Volume 1 - *Unicamp*. https://www3.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/RelatorioABDI/aeronautica_vol-I_marco2008.pdf

Bailey, J. (2008, 16 janvier). More Delays Expected for Boeing's Dreamliner. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2008/01/16/business/16boeing.html>

Bailey, J. (2020, 14 février). Airbus A350 Break Even Target Achieved In 2019. *Simple Flying*. <https://simpleflying.com/airbus-a350-break-even/>

BEA (2020, 27 septembre). Investigation Report: Accident to the AIRBUS A380-861 equipped with Engine Alliance GP7270 engines registered F-HPJE operated by Air France on 30 September 2017 in cruise over Greenland (Denmark). *BEA*. https://www.bea.aero/uploads/tx_elydbrapports/BEA2017-0568.en.pdf

Bechai, D. (2020, 19 février). Boeing 787 Profits Are Flattening After A Strong Year. *Seeking Alpha*. <https://seekingalpha.com/article/4324981-boeing-787-profits-are-flattening-after-strong-year>

Bechara, A., Damásio, H., Tranel, D., et Damásio, A. R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 275 (5304), 1293–1295.

Beelaerts van Blokland, W., Santema, S. C. et Curran, R. (2010). Flowing value more lean by leveraging value on the supply chain. *Lean Supply Chain Management in Aerospace*. doi: 10.1002/9780470686652.eae370. https://www.researchgate.net/publication/230261967_Lean_Supply_Chain_Management_in_Aerospace

Beresnevicius, R. (2019, 26 avril). On this day: First Flight Of The Airbus A380. *Aerotime Hub*. <https://www.aerotime.aero/rytis.beresnevicius/22852-airbus-a380-first-flight>

Beresnevicius, R. (2019b, 22 octobre). Mitsubishi reportedly delays the SpaceJet for the sixth time. *Aerotime Hub*. <https://www.aerotime.aero/rytis.beresnevicius/24096-mitsubishi-spacejet-sixth-delay>

Bloomberg News, (2005, 2 juin). Problems to delay 1st deliveries of Airbus A380 up to 6 months. *Chicago Tribune*. <https://www.chicagotribune.com/news/ct-xpm-2005-06-02-0506020204-story.html>

Bogaisky, J. (2020, 20 mars). Boeing Suspends Dividend, Top Execs Give Up Pay As Congress Moots Coronavirus Bailout. *Forbes*.
<https://www.forbes.com/sites/jeremybogaisky/2020/03/20/boeing-suspends-dividend-top-exec-s-give-up-pay-as-they-wait-for-bailout/#7b2d606927ad>

Bortolotti, T., Romano, P., Martínez-Jurado, P. J & Moyano-Fuentes, J. (2016). Towards a theory for lean implementation in supply networks. *International Journal of Production Economics*, 175, 182–196.

Bowersox, D. J., Closs, D. J. et Cooper, M. B. (2010). *Supply Chain Logistics Management* (4th ed.). McGraw-Hill.

Buyck, C. (2007, 13 décembre). SIA's Chew: A380 pleases, Virgin Atlantic disappoints. *ATW Daily News*.
<https://web.archive.org/web/20071215175343/http://www.atwonline.com/news/story.html?storyID=11132>

Cabral, I., Grilo, A., et Cruz-Machado, V. (2012). A decision-making model for lean, agile, resilient and green supply chain management. *International Journal of Production Research*, 50(17), 4830–4845. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.657970>

Cagli, A., Kechidi, M., Levy, R., (2012). Complex product and supplier interfaces in aeronautics. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 23(6), 717–732. <https://doi.org/10.1108/17410381211253308>

Castro, M., Bahli, B., Farias Filho, J., et Barcaui, A. (2019). A contemporary vision of project success criteria. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 16(1), 66-77. <https://doi.org/https://doi.org/10.14488/BJOPM.2019.v16.n1.a6>

Chaudhuri, A., Boer, H., & Taran, Y. (2018). Supply Chain Integration, Risk Management and Manufacturing Flexibility. *International Journal of Operations & Production Management*, 38(3), 690-712. doi: <http://dx.doi.org.biblioproxy.uqtr.ca/10.1108/IJOPM-08-2015-0508>

Chopra, S., et Sodhi, M. S. (2004). Managing risk to avoid supply-chain breakdown - by understanding the variety and interconnectedness of supply-chain risks, managers can tailor balanced, effective risk-reduction strategies for their companies. *MIT Sloan Management Review*, 46(1), 53.

Chopra, S. et Meindl, P. (2011). *Gestão da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operações* (4e éd.). Pearson Prentice Hall.

Chua, A. (2019, 31 octobre). Trans States cancels SpaceJet orders. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/programmes/trans-states-cancels-spacejet-orders/135107.article>

Ciravegna, L., Romano, P. et Pilkington, A. (2013). Outsourcing practices in automotive supply networks: an exploratory study of full service vehicle suppliers. *International Journal of Production Research*, 51:8, 2478-2490, DOI: 10.1080/00207543.2012.746797.

Clark, N. (2006a, 4 septembre). Airbus replaces chief of jumbo jet project - Business - International Herald Tribune. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2006/09/04/business/worldbusiness/04iht-airbus.2693593.html>

Clark, N. (2006b, 14 décembre). A Humbled Airbus Learns Hard Lessons. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2006/12/14/business/worldbusiness/14cnd-airbus.html>

Clark, P. (2010, 9 décembre). Long wait for Dreamliner's arrival. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/1af9af16-03c8-11e0-8c3f-00144feabdc0>

Codère, J. F. (2020, 14 février). C Series/A220: 7 milliards US plus tard. *LaPresse*. <https://www.lapresse.ca/affaires/entreprises/2020-02-14/c-series-a220-7-milliards-us-plus-tard>

Coffey, H. (2019, 15 janvier). Last Boeing 727 Passenger Plane Makes Its Final Flight. *Independent*. <https://www.independent.co.uk/travel/news-and-advice/boeing-727-plane-last-flight-iran-asean-airlines-zahedan-tehran-airport-a8728926.html>

Conseil National d'Industrie de la France (2015). *Contrat de la Filière Aéronautique*. https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/files_cni/files/csf/aeronautique/contrat-de-filiere-aeronautique-signé.pdf

Cooke-Davies, T.J. et Arzymanow, A. (2003). The maturity of project management in different industries: An investigation into variations between project management models, *International Journal of Project Management*, Volume 21, Issue 6, Pages 471-478. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00084-4)

Cooper, T., Reagan, I., Porter, C. et Precourt, C. (2019). 2019-2029 Global Fleet & MRO Market Forecast Commentary. *Olivier Wyman*. <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2019/jan/global-fleet-mro-market-forecast-commentary-2019-2029.html#:~:text=Total%20MRO%20spend%20is%20expected,3.5%20percent%20over%20the%20decade>

Cooper, T., Reagan, I., Franzoni, C. et Porter, C. (2021). Global Fleet and MRO Market Forecast 2021-2031. *Olivier Wyman*. <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2021/jan/global-fleet-and-mro-market-forecast-2021-2031.html>

Crane, M. (2006, 14 juin). Major Turbulence For EADS On A380 Delay. *Forbes*. <https://www.forbes.com/2006/06/14/airbus-eads-boeing-614markets12.html?sh=27fb53a51d2a>

Crawford, J. K. (2006). The Project Management Maturity Model. *Information Systems Management*, 23(4), 50-58. <https://search-proquest-com.biblioproxy.uqtr.ca/docview/214122389?accountid=14725>

Cummins, N. (2019, 25 juin). The Airbus A380F – The Freighter Plane That Got Scrapped. *Simple Flying*. <https://simpleflying.com/airbus-a380-f/>

da Silva, R.M. (2013, mars). *O Supply Chain como Ferramenta de Planejamento Estratégico, no Gerenciamento de Estoques, para o Monitoramento da Ruptura de Estoque no Varejo*. [Travail conclusion microprogramme de 2e cycle en administration industrielle, Universidade Estadual de Londrina].

de Oliveira, L. G. (2005, août). *A Cadeia de Produção Aeronáutica no Brasil: uma análise sobre os fornecedores da Embraer*. [Thèse de doctorat, Universidade Estadual de Campinas]. <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/286709>

Davis, A. C. et Boburg, S. (2019, 18 juin). As Trump's defense pick withdraws, he addresses violent domestic incidents. *The Washington Post*. https://www.washingtonpost.com/investigations/trumps-defense-nominee-addresses-violent-incident-between-ex-wife-son-amid-fbi-vetting-process/2019/06/18/e46009de-190b-11e9-a804-c35766b9f234_story.html

Demerjian, D. (2008, 20 mars). Another Delay for Boeing's 787 Dreamliner. *Wired*. <https://www.wired.com/2008/03/boeing-announce/>

Demo, P. (1995). *Metodologia Científica em Ciências Sociais* (3e éd.). Editora Atlas.

Denning, S. (2013a, 17 janvier). The Boeing Debacle: Seven Lessons Every CEO Must Learn. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/stevedenning/2013/01/17/the-boeing-debacle-seven-lessons-every-ceo-must-learn/#bd9f41f15c17>

Denning, S. (2013b, 21 janvier). What Went Wrong at Boeing? *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/stevedenning/2013/01/21/what-went-wrong-at-boeing/#3ded253e7b1b>

Department for Business Innovation & Skills (2016). BIS Research Paper Number 294 - *UK Aerospace Supply Chain Study*, pp 12-24. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/536903/bis-16-310-aerospace-supply-chain-study.pdf

Donaldson L. (2018, 14 novembre). Structural Contingency Theory/Information Processing Theory. *Oxford Bibliographies*. <https://www.oxfordbibliographies.com/view/document/obo-9780199846740/obo-9780199846740-0062.xml#:~:text=Structural%20contingency%20theory%20holds%20that,fits%20certain%20factors%2C%20called%20contingencies>

Done, K. (2007, 16 octobre). Singapore Airlines takes delivery of first A380. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/114da1d8-7b1e-11dc-8c53-0000779fd2ac>

Drew, C. (2009, 14 août). Boeing Halts Production of Flawed Dreamliner Part. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2009/08/15/business/15boeing.html>

Drew, C. (2011, 18 janvier). Boeing Again Delays Delivery of Dreamliner. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2011/01/19/business/19boeing.html>

Driskill, M. (2020, 15 juin). More shifts at Mitsubishi Aircraft. *Asian Aviation*. <https://asianaviation.com/more-shifts-at-mitsubishi-aircraft/>

Elahi, E., Sheikhzadeh, M., & Lamba, N. (2014). An integrated outsourcing framework: analyzing Boeing's outsourcing program for Dreamliner (b787). *Knowledge and Process Management*, 21(1), 13–28. <https://doi.org/10.1002/kpm.1431>

Ellis, P. (2020, 17 février). Bombardier reaches US\$8.2B deal to sell rail unit to France's Alstom. *BNN Bloomberg*. <https://www.bnnbloomberg.ca/bombardier-alstom-close-to-deal-for-rail-unit-source-1.1391440>

- Eppinger, S. (2013, 11 juin). Will risk result in reward for Boeing's Dreamliner? *MIT Sloan Executive Education Blog*. <https://executive.mit.edu/blog/will-risk-result-in-reward-for-boeings-dreamliner>
- Esposito, E. (2004). Strategic Alliances and Internationalisation in the Aircraft Manufacturing Industry. *Technological Forecasting and Social Change - TECHNOLOGICAL FORECAST SOC CHANGE*. 71. 443-468. 10.1016/S0040-1625(03)00002-7.
- Fehrm, B. (2015, 23 avril). Bjorn's Corner: Boeing's 787 and Airbus' 350 programs, a snapshot. *Leeham News and Analysis*. <https://leehamnews.com/2015/04/23/bjorns-corner-boeings-787-and-airbus-350-program-snapshot/>
- Fehrm, B. (2017, 28 juin). MRJ entering more stable phase. *Leeham News and Analysis*. <https://leehamnews.com/2017/06/28/mrj-entering-stable-phase/#comments>
- Fehrm, B. (2019, 23 octobre). Mitsubishi's M90 faces delay amid elaborate certification. *Leeham News and Analysis*. <https://leehamnews.com/2019/10/23/mitsubishis-m90-faces-delay-amid-elaborate-certification/>
- Ferreira, V. L., Salerno, M. S. et Lourenção, P. T. M. (2011). The strategic relationship with suppliers: Embraer case study. *Revista Gestão & Produção*, São Carlos, v. 18, n. 12, p. 221-236. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2011000200001>
- Fickling, D. (2019, 21 mars). China Inc.'s Boeing Rival Just Won't Fly. *Bloomberg News*. <https://www.bnnbloomberg.ca/china-inc-s-boeing-rival-just-won-t-fly-1.1232313>
- Figueiredo, P., Silveira, G. et Sbragia, R. (2008). Risk sharing partnerships with suppliers: the case of Embraer. *Journal of Technology Management & Innovation*, 3(1), 27-37. DOI: 10.1142/9789812770318_0017.
- Finlay, M. (2020, 13 janvier). China's COMAC C919 Faces A New Mathematical Headwind. *Simple Flying*. <https://simpleflying.com/comac-c919-miscalculation/>
- Fleury, P., Wanke, P. et Figueiredo, K. F. (2000). *Logística empresarial: a perspectiva brasileira*. Atlas.
- Forker, L. B., Mendez, D. et Hershauer, J. C. (1997). Total quality management in the supply chain: what is its impact on performance? *International Journal of Production Research*, 35(6), 1681-1681.

- Francis, L. (2007, 15 octobre). Mitsubishi formally offers new MRJ regional jet to airlines. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/mitsubishi-formally-offers-new-mrj-regional-jet-to-airlines/76680.article>
- Frost, L. (2005, 27 avril). Airbus A380 makes aviation history with its maiden flight. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/airbus-a380-makes-aviation-history-with-its-maiden-flight/>
- Frost, N. (2020, 3 janvier). The 1997 merger that paved the way for the Boeing 737 Max crisis. *Yahoo Finance*. <https://finance.yahoo.com/news/1997-merger-paved-way-boeing-090042193.html>
- Gagnon, D. (2011). Le contrat : Un instrument légal ou un outil en mode gestion de projet ? St. Louis: *Federal Reserve Bank of St Louis*. <https://search-proquest-com.biblioproxy.uqtr.ca/docview/1698938092?accountid=14725>
- Gale, A. (2018, 10 juillet). The Pressure Is on for Japan's First Jetliner. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/the-pressure-is-on-for-japans-first-jetliner-1531231202>
- Garcia, M. (2018, 13 août). Demand Tests Supply Chain at Airbus and Boeing, With Tariff Impact Uncertain. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/marisagarcia/2018/08/13/demand-tests-supply-chain-at-airbus-and-boeing-with-tariff-impact-uncertain/#4ba52700d036>
- Garcias, F. (2016). Destins de la courbe d'apprentissage : heurs et malheurs d'une technologie managériale de guerre en temps de paix. *Entreprises Et Histoire*, 85(4), 26–39. <https://doi.org/10.3917/eh.085.002>
- Gardner, J. T., Cooper, M. C., et Noordewier, T. (1994). Understanding shipper-carrier and shipper-warehouse relationships: partnerships revisited. *Journal of Business Logistics*, 15(2), 121–121.
- Garvin, D. (2000). *Learning in Action: A guide to putting the learning organization to work*. Boston, Mass.: Harvard Business School Press.
- Gates, D. (2003, 9 mars). Boeing buzzes about 'source' of work. *The Seattle Times*. <https://archive.seattletimes.com/archive/?date=20030309&slug=boeingcritique09>

Gates, D. (2006, 30 juillet). Disaster Stories, Part 3. *WorldCAD Access*. https://worldcadaccess.typepad.com/blog/2006/07/disaster_storie_2.html

Gates, D. (2007, 25 octobre). 787 delay could wind up costing Boeing \$1 billion. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/787-delay-could-wind-up-costing-boeing-1-billion/>

Gates, D. (2008a, 10 avril). Latest delay of Boeing 787 pushes back first delivery to third quarter of 2009. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/latest-delay-of-boeing-787-pushes-back-first-delivery-to-third-quarter-of-2009/>

Gates, D. (2008b, 11 juin). Boeing expertise speeding up 787 partners. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/boeing-expertise-speeding-up-787-partners/>

Gates, D. (2009, 23 décembre). Boeing's 787 Dreamliner is no lightweight. *Los Angeles Times*. <https://www.latimes.com/archives/la-xpm-2009-dec-23-la-fi-dreamliner23-2009dec23-story.html>

Gates, D. (2010, 09 novembre). Electrical fire forces emergency landing of 787 test plane. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/electrical-fire-forces-emergency-landing-of-787-test-plane/>

Gates, D. (2015, 1 mai). Boeing 787's problems blamed on outsourcing, lack of oversight. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-787rsquos-problems-blamed-on-outsourcing-lack-of-oversight/>

Gates, D. (2018, 11 janvier). Boeing's bid to buy Embraer could see Brazilian engineers work on the 797. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/boeings-bid-to-buy-embraer-could-see-brazilian-engineers-work-on-the-797/>

Gates, D. (2020a, 25 avril). Boeing kills its \$4.2 billion purchase of Embraer as coronavirus roils the aviation industry. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/boeing-kills-its-4-2-billion-purchase-of-embraer/>

Gates, D. (2020b, 6 février). Costs mount as Mitsubishi SpaceJet is delayed again. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/costs-mount-as-mitsubishi-spacejet-is-delayed-again/?amp=1>

Gauthier-Villars, D., Brian, P. et Michaels, D. (2004, 16 décembre). Airbus Discloses Cost Overruns On Big A380 Jet. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/SB110313731538101053>

Goh, B. (2017, 28 septembre). China's COMAC says C919 jet completed second test flight. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-china-aviation-comac/chinas-comac-says-c919-jet-completed-second-test-flight-idUSKCN1C30H3>

Goh, B. (2018, 6 février). China's Comac says first delivery of C919 jet planned for 2021. *Reuters*. <https://www.cnbc.com/2018/02/06/chinas-comac-says-first-delivery-of-c919-jet-planned-for-2021.html>

Goldstein, M. (2020, 9 mars). Airbus A380 Value Continues To Crash With Move To Smaller Planes. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/michaelgoldstein/2020/03/09/airbus-a380-value-continues-to-plummet/?sh=64caef16489c>

González, N., Franck, M. et Bocquet, J. C. (2007). Measuring project maturity: Example in a French automotive organization. *International Conference on Engineering Design ICED'07*. https://www.designsociety.org/download-publication/25671/measuring_project_maturity_example_in_a_french_automotive_organization

González Ramirez, N. (2009). Contribution à l'amélioration des processus à travers la mesure de la maturité de projet : application à l'automobile. [Thèse de doctorat de l'École Centrale des Arts et Manufactures]. https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/491760/filename/2009ECAP0041_0_0.pdf

Govindasamy, S. et Yan, F. (2013, 2 octobre). Delayed take-off: China cautious on large aircraft program. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-china-aerospace-comac/delayed-take-off-china-cautious-on-large-aircraft-program-idUSBRE99117I20131002>

Govindasamy, S. (2015, 13 mai). Exclusive: China set to delay maiden flight of C919 commercial jet – sources. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-china-airplane/exclusive-china-set-to-delay-maiden-flight-of-c919-commercial-jet-sources-idUSKBN0NY1E820150514>

Grant, R. M. (2008). *Contemporary strategy analysis* (6th ed.). Blackwell Pub.

Gratton, G. (2015). *Initial Airworthiness: Determining the acceptability of new airborne systems*. Springer.

Gudmundsson, S. (2017). Global Partnering Dilemma: Following in the Steps of the Boeing 787 Dreamliner. *Teaching Case 2017*. https://www.researchgate.net/publication/281444001_Global_Partnering_Dilemma_Following_in_the_Steps_of_the_Boeing_787_Dreamliner

Gunter, L. (2011, 11 janvier). Boeing Sets 787 First Delivery for Third Quarter. *Boeing Media Room*. <https://boeing.mediaroom.com/2011-01-18-Boeing-Sets-787-First-Delivery-for-Third-Quarter>

Hamilton, S. (2020, 18 mars). Surrounded by global bad news, Mitsubishi launches new SpaceJet testing. *Leeham News and Analysis*. <https://leehamnews.com/2020/03/18/surrounded-by-global-bad-news-mitsubishi-launches-new-spacejet-testing/>

Hart-Smith, L.J. (2001). Out-sourced Profits – The Cornerstone of Successful Subcontracting. *Boeing Phantom Works*. <https://pdfs.semanticscholar.org/e9da/f5cc1c94c6e34e29095ca168e8fa2d750df9.pdf>

Hashim, F. (2018, 26 octobre). ANALYSIS: Comac marches forward with ARJ21 and C919. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/analysis/analysis-comac-marches-forward-with-arj21-and-c919/129587.article>

Hätönen, J., et Eriksson, T. (2009). 30 years of research and practice of outsourcing - exploring the past and anticipating the future. *Journal of International Management*, 15(2), 142–155. <https://doi.org/10.1016/j.intman.2008.07.002>

Henriques Santos, D. (octobre, 2017). *Caracterização e Otimização da Cadeia de Abastecimento Aeronáutica - O caso da Embraer*. [Mémoire de maîtrise en ingénierie et gestion industrielle, Instituto Superior Técnico Lisboa].

Hemmerdinger, J. (2020, 27 juillet). Airbus' and Boeing's undelivered jet inventories swell amid pandemic. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/airframers/airbus-and-boeings-undelivered-jet-inventories-swell-amid-pandemic/139499.article?adredir=1>.

Hepher, T. (2014, 16 décembre). Tom Williams named Airbus unit no.2 as Butschek leaves. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-airbus-management/tom-williams-named-airbus-unit-no-2-as-butschek-leaves-idUSKBN0JU28B20141216>

Hobbs, A., et Williamson, A. (2002). Skills, rules and knowledge in aircraft maintenance: errors in context. *Ergonomics*, 45(4), 290–308. <https://doi.org/10.1080/00140130110116100>

Hollinger, P. (2016, 26 juillet). Airbus and Boeing put pressure on supply chain. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/e0d51872-516c-11e6-9664-e0bdc13c3bef>

Hong, Y., Pearson, J. N. et Carr, A.S. (2009). A typology of coordination strategy in multi-organizational product development. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 29 Issue: 10, pp.1000-1024. <https://doi.org/10.1108/01443570910993465>

Hradecky, S. (2012, 20 janvier). Airworthiness Directive regarding Airbus A380 wing cracks. *The Aviation Herald*. <http://avherald.com/h?article=44992a89&opt=0>

Hui, P. P., Davis-Blake, A., & Broschak, J. P. (2008). Managing interdependence: the effects of outsourcing structure on the performance of complex projects. *Decision Sciences*, 39(1), 5–31. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00180.x>

IATA (2019). Aircraft Technology Roadmap to 2050. *IATA*. <https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/technology20roadmap20to20205020no20foreword.pdf>

Ichihara, T. (2017, 30 novembre). Repeated delays dim the Mitsubishi Regional Jet's sales prospects. *Nikkei Asian Review*. <https://asia.nikkei.com/magazine/20171130/Business/Repeated-delays-dim-the-Mitsubishi-Regional-Jet-s-sales-prospects?page=2>

Ingram, D. et Aubin, D. (2016, 12 février). Boeing uses an accounting method that others have left behind. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-boeing-probe-accounting-idUSKCN0VL2K0>

Ionides, N. (2006, 14 juin). Singapore Airlines to order 20 Boeing 787-9s in latest blow to Airbus's A350 campaign. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/singapore-airlines-to-order-20-boeing-787-9s-in-latest-blow-to-airbuss-a350-campaign/67926.article>

Jang, B. (2006, 22 juillet). Airbus: Crossed wires. *The Globe and Mail*. <https://www.theglobeandmail.com/report-on-business/airbus-crossed-wires/article20415306/>

Jasper, C. et Rothman, A. (2016, 12 juillet). Airbus A380 Cut May Mark Beginning of End for Superjumbo. *Bloomberg*. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-07-12/airbus-plans-to-cut-annual-a380-deliveries-to-12-as-of-2018>

Jiang, Steven (2015, 2 novembre). China to take on Boeing, Airbus with homegrown C919 passenger jet. *CNN Travel*. <https://www.cnn.com/travel/article/china-new-c919-passenger-jet/index.html>

Jiang, S. (2015, 2 novembre). China rolls out indigenous C919 jet in a bid to compete with Boeing, Airbus. *South China Morning Post*. <https://www.scmp.com/business/companies/article/1874867/china-rolls-out-indigenous-c919-jet>

Johansson, C., Hicks, B., Larsson, A. C., et Bertoni, M. (2011). Knowledge maturity as a means to support decision making during product-service systems development projects in the aerospace sector. *Project Management Journal*, 42(2), 32–50. <https://doi.org/10.1002/pmj.20218>.

Jonas, G. (2010, 20 novembre). Qanta's close all. *National Post*. <https://www.pressreader.com/canada/national-post-latest-edition/20101120/289201624006606>

Katz, B. (2018, 23 février). Airbus Super-Jumbo Sheds Financial Weight in New State Aid Deal. *Bloomberg*. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-23/airbus-sheds-1-4-billion-owed-to-countries-in-new-a380-aid-deal>

Kawakami, A. et Nishioka, A. (2020, 1 juillet). Mitsubishi taps F-15 specialist to pull SpaceJet out of tailspin. *Nikkei Asia*. <https://asia.nikkei.com/Business/Aerospace-Defense/Mitsubishi-taps-F-15-specialist-to-pull-SpaceJet-out-of-tailspin>

Kaynak, H., et Hartley, J. L. (2008). A replication and extension of quality management into the supply chain. *Journal of Operations Management*, 26(4), 468–489. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.06.002>

Kelly, T. et Shiraki, M. (2017, 17 avril). Japan jet may not make money, but aims to revive dormant industry. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-japan-aerospace-mrj-analysis/japan-jet-may-not-make-money-but-aims-to-revive-dormant-industry-idUSKBN17J1ST>

Kelly, T., Coghill, K. et Cushing, C. (2020, 6 février). Mitsubishi postpones SpaceJet delivery again, books \$4.5 billion special loss. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-mitsubishi-spacejet/mitsubishi-postpones-spacejet-delivery-again-books-4-5-billion-special-loss-idUSKBN2000FI>

Kingsley-Jones, M. (2005, 19 décembre). A380 powers on through flight-test. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/a380-powers-on-through-flight-test/64576.article>

Kingsley-Jones, M. (2017, 19 septembre). ANALYSIS: The A380's rollercoaster ride in 10 years of service. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/analysis-the-a380s-rollercoaster-ride-in-10-years-of-service/125273.article>

Klotzle, M. C. (2002). Alianças estratégicas: conceito e teoria. *Revista administração contemporânea*, vol.6, n.1, pp.85-104. <https://doi.org/10.1590/S1415-65552002000100006>

Koranyi, B. et Lawson, H. (2013, 28 septembre). Norwegian Air takes Dreamliner out of service after breakdowns. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-boeing-norwegian-dreamliner/norwegian-air-takes-dreamliner-out-of-service-after-breakdowns-idUSBRE98R06E20130928>

Kotha, S., & Srikanth, K. (2013). Managing a global partnership model: lessons from the Boeing 787 'Dreamliner' program: managing a global partnership model. *Global Strategy Journal*, 3(1), 41–66. <https://doi.org/10.1111/j.2042-5805.2012.01050.x>

Kornberger, M., & Clegg, S. (2003). The architecture of complexity. *Culture and Organization*, 9(2), 75–91. <https://uqtr.on.worldcat.org/oclc/637112677>

Kwon, H. D., Lippman, S. A., McCardle, K. F., & Tang, C. S. (2010). Project management contracts with delayed payments. *Manufacturing & Service Operations Management*, 12(4), 692–707. <https://doi.org/10.1287/msom.1100.0301>

Kostalova, J., et Tetrevoa, L. (2018). Proposal of project management methods and tools oriented maturity model. *Revista de Gestão e Projetos*, 9(1), 1-23. <https://search-proquest-com.biblioproxy.uqtr.ca/docview/2040602176?accountid=14725>

Kubota, Y. (2013, 22 février). Mitsubishi Aircraft delays regional jet delivery 2017. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-mitsubishi-jet-idUSBRE97L09720130822>

Laing, J. R. (2013, 27 avril). Will Boeing's Battery Fix Fly? *Barrons's*. <https://www.barrons.com/articles/SB50001424052748703889404578439060025345082>

LaMarca (2014, 27 octobre). Japão: Os projetos aeronáuticos mais importantes do “Império do Sol Nascente”. *Cavok Asas da Informação*. <http://www.cavok.com.br/blog/japao-os-projetos-aeronauticos-mais-importantes-do-imperio-do-sol-nascente/>

Larouzée, J., Guarnieri, F. et Besnard, D. (2014). Le modèle de l’erreur humaine de James Reason. [Research Report] CRC_WP_2014_24, MINES *ParisTech*. 2014, 44 p. <https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-01102402/document>

Lawson, H. (2013, 26 juillet). Dreamliner nightmare continues for Boeing as Qatar Airways pulls plane out of service 'after smoke reported near electrical compartment'. *Daily Mail.com*. <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2379183/Dreamliner-nightmare-continues-Boeing-Qatar-Airways-pulls-plane-service-smoke-reported-near-electrical-compartment.html>

Leach, Y. (2009, 27 août). Boeing Announces New 787 Schedule and Third-Quarter Charge. *Boeing Media Room*. <https://boeing.mediaroom.com/2009-08-27-Boeing-Announces-New-787-Schedule-and-Third-Quarter-Charge>

Lee, A. (2020, 10 décembre). China’s C919 commercial jet aspirations are overblown and no threat to Boeing or Airbus, Washington think tank finds. *South China Morning Post*. <https://www.scmp.com/economy/china-economy/article/3113209/chinas-commercial-plane-aspirations-are-overblown-and-no>

Lerner, M. J. (1970). The desire for justice and reactions to victims. *Altruism and helping behavior*, 205, 229.

Levine-Weinberg, A. (2019, 17 juin). The New Mitsubishi Regional Jet Will Come a Decade Too Late. *The Motley Fool*. <https://www.fool.com/investing/2019/06/17/the-new-mitsubishi-regional-jet-will-come-a-decade.aspx>

Lewis, M., Welsh, M., Dehler, G., & Green, S. (2002). Product Development Tensions: Exploring Contrasting Styles of Project Management. *The Academy of Management Journal*, 45(3), 546-564. <https://www-jstor-org.biblioproxy.uqtr.ca/stable/3069380>

Lima Quattrocchi, P. S. de (septembre, 2018). *Gestion de projet durable d'essais en vol*. [Mémoire de maîtrise en gestion de projet, Université du Québec à Trois-Rivières].

Lini, Sami. (2013). *L'anticipation et sa représentation dans les interfaces homme-système en aéronautique civile : une approche d'ingénierie cognitive*. [Thèse de doctorat en sciences physiques et de l'ingénieur, Université de Bordeaux 1]. https://www.researchgate.net/publication/258705623_L'anticipation_et_sa_representation_dans_les_interfaces_homme-systeme_en_aeronautique_civile_une_approche_d'ingenierie_cognitive

Lock, D. (2013). *Project Management*: Vol. 10th ed. Gower.

Love, P. E. D., Lopez, R., & Kim, J. T. (2014). Design error management: interaction of people, organisation and the project environment in construction. *Structure and Infrastructure Engineering*, 10(6), 811–820. <https://doi.org/10.1080/15732479.2013.767843>

Love, P. E., Lopez, R., Edwards, D. J., & Goh, Y. M. (2012). Error begat error: design error analysis and prevention in social infrastructure projects. *Accident; Analysis and Prevention*, 48, 100–10. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.02.027>

Lunsford, J. L. (2007a, 17 octobre). Boeing replaces head of 787 Dreamliner program. *Wall Street Journal*. <https://search-proquest-com.biblioproxy.uqtr.ca/docview/399050468?accountid=14725>

Lunsford, J. L. (2007b, 7 décembre). Boeing Scrambles to Repair Problems With New Plane. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/SB119698754167616531>

Lunsford, J. L. (2008, 8 septembre). Outsourcing at Crux of Boeing Strike. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/SB122083149762108451>

Lyme, C. (2015, 2 novembre). Superjet made-in-China: First look inside the C919 passenger plane as the country's home-made airliner makes its worldwide debut. *Daily Mail.com*. <https://www.dailymail.co.uk/news/peoplesdaily/article-3300113/Superjet-China-look-inside-C919-passenger-plane-country-s-home-airliner-makes-worldwide-debut.html>

Makishi, M. (2018, 20 avril). Afinal, o que significa Compliance? *Portal dos Administradores*. <http://www.administradores.com.br/noticias/cotidiano/afinal-o-que-significa-compliance/123578/>

Malone, T.W. (1987). Modeling coordination in organizations and markets. *Management Science*, 33(10), 1317. <https://search-proquest-com.biblioproxy.uqtr.ca/docview/213161800?accountid=14725>

Marks, P. (2005, 29 juin). Aviation – The shape of wings to come. *NewScientist*. <https://www.newscientist.com/article/dn7552-aviation-the-shape-of-wings-to-come/?ignored=irrelevant>

McIntosh, A. (2017, 29 mars). Nine senior Mitsubishi Aircraft execs are on their way out after lasted MRJ delays. *Puget Sound Business Journal*. <https://www.bizjournals.com/seattle/news/2017/03/29/mitsubishi-aircraft-exec-retirements-mrj-delay.html>

Mecham, M., et Anselmo, J. (2008, 17 mars). Mitsubishi Leads Japanese Aircraft Resurgence. *Aviation Week Network*. https://aviationweek.com/site-files/aviationweek.com/files/uploads/2014/10/AW_03_17_2008_p68-70.pdf

Mendes, T. (2019, 24 juillet). Conheça Peter Drucker, considerado o “pai” da Administração moderna. *Na Prática.org*. <https://www.napratica.org.br/peter-drucker-pai-da-administracao-moderna/>

Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1–25. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>

Meszaros, J. (2019, 14 juin). Flight Deck Woes Still Hampering C919. *AINonline*. <https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2019-06-14/flight-deck-woes-still-hampering-c919>

Metz, P.J. (1998). Demystifying Supply Chain Management. *Supply Chain Management Review*. vol. 1, num. 4. https://www.lomag-man.org/supply%20chain%20dossier/documentation_telech/SCMReview_DemystifyingSupplyChainMan-Peter.J.Metz1.1.98.pdf

Micheli, G. J. L., Mogre, R. et Perego, A. (2014). How to choose mitigation measures for supply chain risks, *International Journal of Production Research*, 52:1, 117-129. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.828170>

Mintzberg, H. (2016, 21 juillet). Decision Making: It’s not what we think. It’s also what we see. And what we do too. <https://mintzberg.org/blog/decision-making>.

- Mitsubishi Aircraft Corporation. À propos. <https://www.mitsubishiaircraft.com/fr/about>
- Morales, J. (2006). The A380 Transport Project and Logistics. https://www.aviation.tu-darmstadt.de/media/arbeitskreis_luftverkehr/downloads_6/kolloquien/13kolloquium/05druckvorlage_morales.pdf
- Mrazova, M. (2013). Advanced composite materials of the future in aerospace industry. *Incas Bulletin*, 5(3), 139–150. <https://doi.org/10.13111/2066-8201.2013.5.3.14>
- Mullaly, M. (2014). If maturity is the answer, then exactly what was the question? *International Journal of Managing Projects in Business*, 7(2), 169-185. doi: <http://dx.doi.org.biblioproxy.uqtr.ca/10.1108/IJMPB-09-2013-0047>.
- Murman, E. M., Allen, T., Cutcher-Gershenfeld, J., Bozdogan, K., Allen, T., & Murman, E. (2002). *Lean enterprise value: Insights from MIT's lean aerospace initiative* (Rev). Palgrave Macmillan. <http://www.books24x7.com/marc.asp?bookid=7187>
- Mutzabaugh, B. (2013, 03 juin). Report: Forgotten tape blamed for Japan Air 'problem'. *USA Today*. <https://www.usatoday.com/story/todayinthesky/2013/06/03/report-japan-air-787-problem-caused-by-forgotten-tape/2384107/>
- National Transportation Safety Board (1996, 17 juillet). Aircraft accident report - In-flight Breakup Over the Atlantic Ocean Trans World Airlines Flight 800 Boeing 747-131, N93119 Near East Moriches, New York. *NTSB*. <https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR0003.pdf>.
- Newell, M. (2019, 28 juin). Why the Airbus A380 failed to take off. *The New Economy*. <https://www.theneweconomy.com/strategy/why-the-airbus-a380-failed-to-take-off>
- Nolan, R. L. (2012). Ubiquitous it: the case of the Boeing 787 and implications for strategic IT research. *Journal of Strategic Information Systems*, 21(2), 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2011.12.003>
- Norris, G. (2012, 26 juin). Operators Reporting Positive 787 Fuel-Burn Results. *Aviation Week*. <https://aviationweek.com/air-transport/operators-reporting-positive-787-fuel-burn-results>
- Obe, M. et Watanabe, N. (2019, 21 juin). Mitsubishi hopes global ambitions will fly with revamped jet. *Nikkei Asian Review*. <https://asia.nikkei.com/Business/Company-in-focus/Mitsubishi-hopes-global-ambitions-will-fly-with-revamped-jet>

Oestergaard, J. K. (2020, 14 septembre). Airbus and Boeing Report August 2020 Commercial Aircraft Orders and Deliveries. *Defense & Security Monitor*. <https://dsm.forecastinternational.com/wordpress/2020/09/14/airbus-and-boeing-report-august-2020-commercial-aircraft-orders-and-deliveries/>

Ostrower, J. (2009, 5 juin). PARIS AIR SHOW: Realising the 787 dream. *Flight Global*. <https://www.flightglobal.com/paris-air-show-realising-the-787-dream/86858.article>

Ostrower, J. (2010a, 25 juin). Horizontal stabiliser gaps force 787 inspections and reduced flight envelope. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/horizontal-stabiliser-gaps-force-787-inspections-and-reduced-flight-envelope/94234.article>

Ostrower, J. (2010b, 27 août). Lack of production engine for Airplane Nine drives 787 delay. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/lack-of-production-engine-for-airplane-nine-drives-787-delay/95579.article>

Ostrower, J. (2010c, 5 novembre). Boeing faces prospect of further 787 delay. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/boeing-faces-prospect-of-further-787-delay/96699.article>

Ostrower, J. (2013, 26 juillet). Inspections of Boeing 787 Emergency-Locator Transmitters Show Problems. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/SB10001424127887324564704578630140997356924>

Ostrower, J. (2016, 4 octobre). Boeing's Unique Accounting Method Helps Improve Profit Picture. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/boeings-unique-accounting-method-helps-improve-profit-picture-1475522362>

Owram, K. (2015, 14 décembre). Bombardier's biggest gamble: How everything went so wrong with the CSeries dream. *Financial Post*. <https://financialpost.com/transportation/bombardiers-biggest-gamble-how-everything-went-so-wrong-with-the-cseries-dream>

Patel, D. R., Sharma, N. D. et Shah, R. A. (2016). Development of project management maturity model for measuring success of construction projects in Surat City - May 2016 *IJSDR* | Volume 1, Issue 5. <http://www.ijedr.org/papers/IJSDR1605030.pdf>

Patterson, T. (2013., 23 avril). FAA orders 'urgent' engine fixes for Boeing 787 Dreamliners. *CNN*. <https://www.cnn.com/2016/04/23/us/boeing-dreamliner-engine-fix/>

Paur, J. (2009, 22 juillet). A Nightmare Delay for the Boeing 787 Dreamliner. *Wired*. <https://www.wired.com/2009/07/787-dreamliner-delay/>

Pépin, R. (2014). *Les équipes de projet haute performance comment les bâtir? : comment les diriger?* (Nouveau tirage (éd. rev. et corr.), Ser. Management, 273-8). Les Éditions SMG.

Pereira dos Santos Silva, M. (avril, 2017). *Projet pour l'amélioration de la performance des entreprises aéronautiques de rang 2 et 3*. [Mémoire de maîtrise en gestion de projet, Université du Québec à Trois-Rivières].

Pereira, M. M. M. (2007). *A maturidade em gerenciamento de projetos e sua contribuição para a seleção de projetos de acordo com a estratégia organizacional*. [Dissertation de maîtrise en ingénierie, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo].

Perrett, B. (2020, 02 novembre). COMAC Affirms Plan For 2021 C919 Certification. *Aviation Week*. <https://aviationweek.com/air-transport/aircraft-propulsion/comac-affirms-plan-2021-c919-certification>

Peterson, K. (2009, 22 septembre). Boeing 787 delays cast hard light on outsourcing. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-boeing-outsourcing-analysis-idUSTRE58L4CS20090922>

Peterson, K. (2011, 20 janvier). Special Report: A wing and a prayer: outsourcing at Boeing. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-boeing-dreamliner-idUSTRE70J2UX20110120>

Philippin, Y. (2012, 7 mai). Airbus encaisse les coûts de l'A380. *Libération*. https://www.liberation.fr/futurs/2012/05/07/airbus-encaisse-les-couts-de-l-a380_817119

Pires, S. (2004). *Gestão da cadeia de suprimentos (supply chain management): conceitos, estratégias, práticas e casos*. (2e. édition). Atlas.

Polek G. (2009, 9 septembre). Mitsubishi to Delay MRJ First Flight. *AINonline*. <https://www.ainonline.com/aviation-news/2009-09-09/mitsubishi-delay-mrj-first-flight>

Polek, G. (2012, 25 avril). Latest MRJ Delay To Last At Least a Year. *AINonline*. <https://www.ainonline.com/aviation-news/2012-04-25/latest-mrj-delay-last-least-year>

- Polek, G. (2013, 22 août). Mitsubishi Aircraft Delays MRJ For a Third Time. *AINonline*. <https://www.ainonline.com/aviation-news/2013-08-22/mitsubishi-aircraft-delays-mrj-third-time>
- Portugal, A. (2017). *Teoria Geral da Administração I*. (1e éd.). Aiamis.
- Project Management Institute. (2013). *A guide to the project management body of knowledge: (PMBOK® guide)* (5th ed.). Project management Institute.
- Qiu, S. et Hephher, T. (2020, 9 janvier). China's bid to challenge Boeing and Airbus falters. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-china-aviation-comac-insight/chinas-bid-to-challenge-boeing-and-airbus-falters-idUSKBN1Z905N>
- R. C. (2018, 25 juillet). Why Mitsubishi's new regional jet shouldn't be written off yet. *The Economist*. <https://www.economist.com/gulliver/2018/07/25/why-mitsubishis-new-regional-jet-shouldnt-be-written-off-yet>
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 13(3). <https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160>
- Rasmussen, J. (2000). Trends in Human Factors Evaluation of Work Support Systems. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 44(37), 561–564. <https://doi.org/10.1177/154193120004403704>
- Reason, J. (1994). Errors, outcomes and circumventions: a reply to Dougherty. *Reliability Engineering and System Safety*, 46(3), 297–298. [https://doi.org/10.1016/0951-8320\(94\)90127-9](https://doi.org/10.1016/0951-8320(94)90127-9)
- Reason, J. (2000). Human error: models and management. *BMJ: British Medical Journal*, 320(7237), 768–770.
- Reason, J., Hobbs, A. (2003). *Managing Maintenance Error*. London: CRC Press, <https://doi.org/10.1201/9781315249926>.
- Reason, J. (2016). *Managing the risks of organizational accidents*. Routledge.

Reed, D. (2019, 15 février). The Plane That Never Should Have Been Built: The A380 Was Designed For Failure. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/danielreed/2019/02/15/the-plane-that-never-should-have-been-built-the-a380-was-designed-for-marketplace-failure/?sh=7aa4c2a63c59>

Reuters (1995, 10 juillet). Boeing, Partners Expected to Scrap Super-Jet Study. *Los Angeles Times*. <https://www.latimes.com/archives/la-xpm-1995-07-10-fi-22333-story.html>

Richter, K., & Walther, J. (2017). *Supply chain integration challenges in commercial aerospace: A comprehensive perspective on the aviation value chain*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46155-7>

Rochabrun, M. (2020, 30 janvier). SkyWest orders 20 old-generation Embraer jets as order for new line remains paused. *Reuters*. <https://www.nasdaq.com/articles/skywest-orders-20-old-generation-embraer-jets-as-order-for-new-line-remains-paused-2020-01>

Rushe, D. (2013, 18 janvier). Why Boeing's 787 Dreamliner was a nightmare waiting to happen. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/business/2013/jan/18/boeing-787-dreamliner-grounded>

Russel, E. (2013, 7 mai). Mitsubishi and ANI cancel MOU for MRJs. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/mitsubishi-and-ani-cancel-mou-for-mrjs/109641.article>

Saaty, T. L. (1991). *Método de Análise Hierárquica*. (1ere ed.) McGraw-Hill.

Sarker, S. K., et Vincent, C. (2005). Errors in surgery. *International journal of surgery (London, England)*, 3(1), 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2005.04.003>

Sasou, K., et Reason, J. (1999). Team errors: definition and taxonomy. *Reliability Engineering and System Safety*, 65(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(98\)00074-X](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(98)00074-X)

Sanders, P. (2009, 8 juillet). Boeing Sets Deal to Buy a Dreamliner Plant. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/SB124696971307105465>

Sanders, P. et Cameron, D. (2011, 19 janvier). Boeing Sees Long-Delayed 787 Deliveries Starting in Third Quarter. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/SB10001424052748703954004576089703794210100>

- Scarpin, C.T., Sakaguti, F.Y. et Steiner, M.T.A. (2011). Uma proposta de planejamento estratégico para a reposição de produtos nas lojas de uma rede supermercadista. *Revista Brasileira de Estratégia*, v.4, p. 141-153. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/26812>
- Schonland, A. (2019, 19 juin). A program briefing and discussion with Mitsubishi's Alex Bellamy at Paris Air Show. *AirInsight*. <https://airinsight.com/a-program-briefing-and-discussion-with-mitsubishis-alex-bellamy-at-paris-air-show/>
- Schuurman, R. (2019, 14 juin). From Mitsubishi MRJ to SpaceJet: what was changed? *AirInsight*. <https://airinsight.com/from-mitsubishi-mrj-to-spacejet-what-has-changed/>
- Scotelano, L. S., Conceição, R. D. P., Leonídio, E. C. et de Jesus, C. S. (2017). Project management maturity model: The case in an automotive industry Brazil. *Brazilian Journal of Operations & Production Management* 14 (2017), pp 500-507. <https://doi.org/https://doi.org/10.14488/BJOPM.2017.v14.n4.a6>
- Scott, A. (2015, 24 juillet). Boeing looks at pricey titanium in bid to stem 787 losses. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-boeing-787-titanium-insight/boeing-looks-at-pricey-titanium-in-bid-to-stem-787-losses-idUSKCN0PY1PL20150724>
- Slayton, R. et Spinardi, G. (2015). Radical innovation in scaling up: Boeing's Dreamliner and the challenge of socio-technical transitions. *Technovation*. 47. 10.1016/j.technovation.2015.08.004.
- Smith, O. (2013, 19 juillet). Dreamliner flight to Tokyo aborted. *The Telegraph*. <https://www.telegraph.co.uk/travel/news/Dreamliner-flight-to-Tokyo-aborted/>
- Smith, R. (2016, 10 octobre). Mitsubishi's jet set for push into Middle East. *The National*. <https://www.thenational.ae/business/mitsubishi-s-jet-set-for-push-into-middle-east-1.153824#full>
- Sobie, B. (2003, 28 avril). MHI to lead on Japan's regional jet. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/mhi-to-lead-on-japans-regional-jet-/48048.article>
- Sodhi, M.S. et Tang, C.S. (2012). Managing Supply Chain Risk - International Series. *Operations Research & Management Science* (vol. 172). Springer.
- Sorscher, S. (2001). Challenge in Aerospace Leadership. Needed: A Strategy that Makes Sense for all Boeing Stakeholders. *SPEEA Business Critique*.

https://www.speea.org/new_temp_items/SPEEA_Challenge_in_Aerospace_Leadership.pdf.

Sorscher, S. (2019, 5 juillet). What will it be, Boeing? Great airplanes that generate cash flow or great cash flow, period? *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/opinion/what-will-it-be-boeing-great-airplanes-that-generate-cash-flow-or-great-cash-flow-period/>

Staff CNN (2000, 19 décembre). Airbus jumbo on runway. *CNN Money*. <https://money.cnn.com/2000/12/19/europe/airbus/>

Staff BBC (2006, 30 octobre). Q&A: A380 delays. *BBC News*. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/5405524.stm>

Staff DN (2009, 25 août). What's Causing Huge Delays for the Boeing 787 Dreamliner? *DesignNews*. <https://www.designnews.com/materials-assembly/whats-causing-huge-delays-boeing-787-dreamliner>

Staff Manufacturing.Net (2009, 1 septembre). A Look at The History Of The Troubled Boeing 787. *Manufacturing.Net*. <https://www.manufacturing.net/home/article/13055749/a-look-at-the-history-of-the-troubled-boeing-787>

Staff Exsyn Aviation Solutions. (2010, 07 mars). What can be learned from the Boeing 787 production troubles. *EXSYN Aviation Solutions*. <https://www.exsyn.com/blog/learn-from-boeing-787-production-troubles>

Staff BBC (2010, 27 août). Boeing delays delivery of 787 aircraft until next year. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/business-11106378>

Staff BBC (2012a, 8 février). Airbus to inspect all A380 superjumbos for wing cracks. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/business-16942361>

Staff BBC (2012b, 11 juin). Airbus A380 wing repairs could take up to eight weeks. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/business-18397398>

Staff Saint Louis Business Journal (2013, 16 août). Boeing traces faulty fire extinguishers to supplier. *Saint Louis Business Journal*. https://www.bizjournals.com/stlouis/morning_call/2013/08/boeing-traces-faulty-fire.html

Staff Seattle Times (2013, 23 novembre). Boeing warns of engine-icing problems on 747-8, 787. *The Seattle Times*. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-warns-of-engine-icing-problems-on-747-8-787/>

Staff UPI (2014, 21 janvier). Passengers alert plane's cabin crew to fuel leaking from wing. *United Press International*. https://www.upi.com/Top_News/World-News/2014/01/21/Passengers-alert-planes-cabin-crew-to-fuel-leaking-from-wing/43731390321026/?spt=rln&or=1&ur3=1

Staff NRD (2014, 18 juin). "Hamburg Journal": erhebliche Probleme mit Türen des Airbus A380. *NRD*. https://www.ndr.de/der_ndr/presse/mitteilungen/Hamburg-Journal-erhebliche-Probleme-mit-Tueren-des-Airbus-A380,pressemeldungndr14366.html

Staff Nikkei Business (2015, 25 décembre). Delivery delayed further by weak wing. *Nikkei Asian Review*. <https://asia.nikkei.com/Business/Companies/Delivery-delayed-further-by-weak-wing>

Staff BBC (2017, 5 mai). China's first big passenger planes takes off for maiden flights. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/world-asia-china-39814146>

Staff Aerotime Hub (2017, 5 mai). Made in China: why C919 can hardly be called Chinese. *Aerotime Hub*. <https://www.aerotime.aero/aerotime.team/447-made-in-china-why-c919-can-hardly-be-called-chinese>

Staff The Japan Times (2017, 2 juillet). Mitsubishi Aircraft sinks into negative net worth on spiraling MRJ costs. *The Japan Times*. <https://www.japantimes.co.jp/news/2017/07/02/business/corporate-business/mitsubishi-aircraft-sinks-negative-net-worth-spiraling-mrj-costs/#.XlYaYKhKjIV>

Staff Radio-Canada (2018, 1 juillet). La C Series de Bombardier officiellement sous le contrôle d'Airbus. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1110315/cseries-bombardier-controle-airbus>

Staff Essays, UK. (November 2018). Outsourcing in the Automotive Industry. *UKEssays*. <https://www.ukessays.com/essays/business/the-global-automotive-industry-and-manufacturing-outsourcing-business-essay.php?vref=1>

Staff Radio-Canada (2018, 8 novembre). Bombardier abolit 5000 postes et vend son programme d'avions Q Series. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1134666/bombardier-abolition-5000-emplois-vente-avion-q400>

Staff Military Watch (2019, 5 février). Japanese Military to Star New Next Generation Fighter Program to Replace F-2 Multirole Jets. *Military Watch*. <https://militarywatchmagazine.com/article/japanese-military-to-start-new-next-generation-fighter-program-to-replace-f-2-multirole-jets>

Staff CBC (2019, 25 juin). Bombardier sells CRJ regional jet program to Mitsubishi for \$550M. *CBC*. <https://www.cbc.ca/news/business/bombardier-mitsubishi-1.5188779>

Staff CH-Aviation (2019, 26 novembre). Mitsubishi non-committal on SpaceJet debut in mid-2020. *CH-Aviation*. <https://www.ch-aviation.com/portal/news/83745-mitsubishi-non-committal-on-spacejet-debut-in-mid-2020>

Staff Military Weapons (2020, 10 janvier). Mitsubishi X-2 (ATD-X / Shinshin) - 5th Generation Fighter Technology Demonstrator Aircraft. *Military Weapons*. https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=1084

Staff CH-Aviation (2020, 13 janvier). COMAC's C919 faces EIS delays beyond 2021-22. *CH-Aviation*. <https://www.ch-aviation.com/portal/news/85199-comacs-c919-faces-eis-delays-beyond-2021-22>

Staff CBC, (2020, 13 février). Bombardier exits the commercial plane business, sells remaining A220 stake to Airbus. *CBC*. <https://www.cbc.ca/news/business/bombardier-financial-results-airbus-c-series-1.5462182#:~:text=The%20company%20posted%20an%20annual,%2C%22%20CEO%20Alain%20Bellemare%20said>

Stoller, M. (2019, 19 décembre). Airplanes and Accounting Games: The Coming Boeing Collapse? *Matt Stoller*. <https://mattstoller.substack.com/p/airplanes-and-accounting-games-the>

Suchandra, P. (2018). Crisis in Boeing 787 Dreamliner: An Investigation from Project Management Control Perspective. *International Journal of Human Resource Studies*. 8. 242. 10.5296/ijhrs.v8i4.13805.

Surowiecki, J. (2013, 28 janvier). Requiem for a Dreamliner? *The New Yorker*. <https://www.newyorker.com/magazine/2013/02/04/requiem-for-a-dreamliner>.

Souza, R. P. N. (2012, juillet). *O Mercado Aeronáutico e a Inserção Brasileira: O caso Embraer* [Travail conclusion baccalauréat, Universidade Federal de Juiz de Fora]. http://www.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2012_1_Rafael.pdf

Sugiura, E. (2018, 31 octobre). Mitsubishi Heavy injects another \$1.9bn into struggling jet. *Nikkei Asian Review*. <https://asia.nikkei.com/Business/Business-trends/Mitsubishi-Heavy-injects-another-1.9bn-into-struggling-jet>.

Taking aim. (2017, Oct). *Flight International*, 192, 5. <https://search-proquest-com.biblioproxy.uqtr.ca/docview/1953816690?accountid=14725>

Tang, C. S., Zimmerman, J. D. et Nelson, J. I. (2009). Managing New Product Development and Supply Chain Risks: The Boeing 787 Case, Supply Chain Forum: *An International Journal*, 10:2, 74-86, DOI: 10.1080/16258312.2009.11517219.

Tegler, E. (2020, 25 septembre). The Last A380 Just Rolled Off Airbus' Production Line. It May Never Fly A Single Passenger. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/erictegler/2020/09/25/the-last-a380-superjumbo-just-rolled-off-airbus-production-line-will-it-ever-fly-passengers/?sh=74294fe82b15>

Theodorson, G. A., et Theodorson, A. G. (1970). A Modern Dictionary of Sociology. *International Journal of Social Psychiatry*, 19(1-2), 154-155. <https://doi.org/10.1177/002076407301900126>

Topham, G. (2013, 18 juillet). Heathrow fire on Boeing Dreamliner 'started in battery component'. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/world/2013/jul/18/heathrow-fire-boeing-dreamliner-battery>

Tkacik, M. (2019, 18 septembre). Crash Course - How Boeing's managerial revolution created the 737 MAX disaster. *The New Republic*. <https://newrepublic.com/article/154944/boeing-737-max-investigation-indonesia-lion-air-ethiopian-airlines-managerial-revolution>

Toh, M. (2013a, 30 août). MRJ attributes programme delay to US FAA's delegation process. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/orders-and-deliveries/mrj-attributes-programme-delay-to-us-faas-delegation-process/110954.article>

Toh, M. (2013b, 4 décembre). Comac and Bombardier discuss next phase of collaboration. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/comac-and-bombardier-discuss-next-phase-of-collaboration/111884.article>

- Toh, M. (2017a, 23 janvier). Mitsubishi delays MRJ deliveries by two years. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/mitsubishi-delays-mrj-deliveries-by-two-years/122858.article>
- Toh, M. (2017b, 21 décembre). Two more jets to join MRJ flight test campaign. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/systems-and-interiors/picture-two-more-jets-to-join-mrj-flight-test-campaign/126553.article>
- Toh, M. (2018, 25 janvier). Eastern Air Lines cancels order for 20 MRJs. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/eastern-air-lines-cancels-order-for-20-mrjs/126854.article>
- Treuner, F., Hübner, D., Baur, S. et Wagner, S. (2014). A Survey of Disruptions in Aviation and Aerospace Supply Chains and Recommendations for Increasing Resilience. *Supply Chain Management*. <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mtec/chair-of-logistics-mgmt-dam/documents/practitioner-articles/Treuner%20etal%202014%20A%20survey%20of%20disruptions%20in%20aviation%20and%20aerospace%20supply%20chain.pdf>
- Trimble, S. (2015, 22 avril). Boeing 787 unit loss declines, but deferred costs rise. *FlightGlobal*. <https://www.flightglobal.com/boeing-787-unit-loss-declines-but-deferred-costs-rise/116629.article>
- Useem, J. (2019, 20 novembre). The Long-Forgotten Flight That Sent Boeing Off Course. *The Atlantic*. <https://www.theatlantic.com/ideas/archive/2019/11/how-boeing-lost-its-bearings/602188/>.
- Valdeira, F., Diogo, F., Frazão, J., Silva, M., et Mendes, S. (2015). *Segurança, Certificação e Testes de Aeronaves*. [Travail de maîtrise intégré en ingénierie aérospatiale, Técnico Lisboa].
- van Dyck, C., Frese, M., Baer, M., et Sonnentag, S. (2005). Organizational Error Management Culture and its Impact on Performance: A Two-Study Replication. *The Journal of Applied Psychology*, 90(6), 1228–40.
- Vargas, R. (2009). *Gerenciamento de Projetos: estabelecendo diferenciais competitivos* (7e éd.). Brasport.
- Viana, J. J. (2011). *Administração de Materiais: Um Enfoque Prático*. Atlas.

Vieira, D. R., Chain, M. C., Bravo, A., et Vieira, R. K. (2017). Model for managing uncertainty in aeronautics projects. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 10(3), 258–278. <https://doi.org/10.1504/IJPLM.2017.087573>.

Vinholes, T. (2017, 29 juin). Primeiro jato comercial chinês completa um ano de operações. *AirWay*. <https://www.airway.com.br/primeiro-jato-comercial-chines-completa-um-ano-de-operacoes/>

Wallace, J. (2006, 6 décembre). Virtual rollout of the 787 - Boeing workers watch computer simulations of new plane. *Seattle Pi*. <https://www.seattlepi.com/default/article/Virtual-rollout-of-the-787-1221725.php>

Wayne, L. (2008, 9 avril). Latest Delay Puts Boeing's Dreamliner a Year Behind. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2008/04/09/business/09cnd-boeing.html>

Wong, K. (2006, 5 décembre). What Grounded the Airbus A380? *Cadalyst*. <https://www.cadalyst.com/cad/product-design/what-grounded-airbus-a380-10903>

Zhiguo, L. (2011, 16 décembre). Comac begins pilot production of C919 jet. *People's Daily Online*. <http://en.people.cn/90778/7679422.html>.

Zuffo, P.K., Wood Jr., T. (1998). Supply Chain Management. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 38(3), 55-63. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-75901998000300007>