

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE

BLIDA-1-



Université Saad Dahleb Blida 1

Institut D'aéronautique Et des études Spatiales

Département de la navigation aérienne Mémoire de fin d'études Master en
Aéronautique

Option : Exploitation

Thème :

Conduite d'une enquête suite à un événement de sécurité :

Cadre méthodologique et étude de cas simulée.

Promoteur :

AZZAZEN Mohamed

Réalisé par :

LOUNADI Abdelfettah

2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS:

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à l'ensemble des enseignants et encadrants qui m'ont accompagné de près ou de loin dans la réalisation de ce mémoire. Leur rigueur, leur disponibilité et leur sens du partage ont grandement enrichi cette expérience académique.

Je remercie chaleureusement les membres du jury de soutenance pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Leur regard critique et leurs remarques constructives constituent pour moi une précieuse source d'amélioration.

Mes remerciements vont également à mes camarades et collègues pour leur aide, leurs conseils, leurs échanges d'idées et leur soutien constant. Je tiens à mentionner tout particulièrement Abdelbari, pour sa présence bienveillante et ses encouragements inestimables tout au long de ce parcours.

Je n'oublie pas toutes celles et ceux qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont apporté leur aide, ne serait-ce que par un mot d'encouragement, un geste, ou un moment d'écoute. À tous ceux qui ont cru en moi, soutenu mes efforts ou simplement relevé mon moral dans les moments de doute : ce travail vous doit beaucoup.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui œuvrent chaque jour dans l'ombre pour faire vivre l'enseignement supérieur et la recherche, et sans qui ce parcours n'aurait pas été possible.

DÉDICACE :

Alhamdoulilah par qui les bonnes œuvres s'accomplissent, Alhamdoulilah en toute chose et en toute circonstance.

Je dédie ce mémoire à mes chers parents, piliers de ma vie, qui ont veillé sur moi, soutenu mon éducation et sacrifié tant de choses pour que j'arrive là où je suis aujourd'hui. Je prie Dieu de guérir ma chère mère et de prolonger sa présence parmi nous.

À ma sœur aînée, mon appui dans la vie et mon refuge dans les moments difficiles. Ton amour et ta force m'ont guidé plus d'une fois. À mon petit frère Abdessalem, lumière de ma vie. Je lui souhaite de réussir pleinement dans sa propre voie.

À mes amis fidèles, pour leur soutien et leur présence tout au long de mon parcours académique — en particulier Mehdi et Abdelbari, que je remercie du fond du cœur.

À tous les enseignants et professeurs qui m'ont transmis leur savoir avec bienveillance. C'est un honneur d'avoir été leur élève.

Je rends également hommage aux victimes de la chute tragique des supporters du Mouloudia, ainsi qu'à tous ceux qui nous ont quittés prématurément, même si je ne les connaissais pas personnellement.

Ce travail n'est que le fruit d'efforts constants et sincères durant ces années d'étude. Je demande à Dieu qu'Il m'accorde la réussite et qu'Il accepte ce travail.

Si j'ai vu juste, c'est par la grâce de Dieu. Si j'ai fauté, cela vient de mes limites personnelles.

LISTE DES ABRÉVIATION:

AAIB - Air Accidents Investigation Branch (Royaume-Uni).

ADREP - Accident/Incident Data Reporting System.

ANAC - Agence Nationale de l'Aviation Civile (Algérie).

BEA - Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile (France).

CRM - Crew Resource Management.

CVR - Cockpit Voice Recorder.

DACM - Direction de l'Aviation Civile et de la Météorologie (Algérie).

ECCAIRS - European Co-ordination Centre for Accident and Incident Reporting Systems.

FDR - Flight Data Recorder.

HFACS - Human Factors Analysis and Classification System.

IIC - Investigator-In-Charge.

ICAO - International Civil Aviation Organization.

NTSB - National Transportation Safety Board (États-Unis).

OACI - Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

SARPs - Standards and Recommended Practices.

SGS - Système de Gestion de la Sécurité.

SHELL - Software – Hardware – Environment – Liveware – Liveware.

SMS - Safety Management System.

USOAP - Universal Safety Oversight Audit Programme.

Résumé:

Ce mémoire explore la conduite d'une enquête technique suite à un incident de sécurité dans l'aviation civile, en se basant sur les normes de l'OACI (Annexe 13, Doc 9756). Il détaille les étapes clés : notification, collecte d'informations, analyse des causes et recommandations.

Une simulation d'un incident — un dysfonctionnement du train avant lors d'un vol d'instruction — sert de base d'analyse. Le travail met en évidence les principes de neutralité, transparence et prévention, tout en évaluant les apports pédagogiques de l'exercice.

Ce mémoire souligne l'importance d'une approche académique rigoureuse pour renforcer la culture de sécurité aérienne.

الملخص:

تناول هذه المذكرة إجراء تحقيق نقي بعد حادث متعلق بالسلامة في الطيران المدني، اعتماداً على معايير OACI (الملحق 13، الوثيقة 9756). وتشمل المراحل الأساسية: الإبلاغ، جمع البيانات، تحليل الأسباب، والتوصيات. تمت محاكاة خلل في معدات الهبوط الأمامية خلال رحلة تدريبية كحالة للدراسة. يبرز العمل مبادئ الحياد، الشفافية، والوقاية، ويقيّم الفوائد التعليمية لهذه المحاكاة. تؤكد المذكرة على أهمية النهج الأكاديمي المنظم في تعزيز ثقافة السلامة الجوية.

Summary:

This thesis addresses the process of conducting a technical investigation following a civil aviation safety incident, based on ICAO standards (Annex 13, Doc 9756). Key phases include notification, data collection, cause analysis, and recommendations.

A simulated nose gear malfunction during a training flight serves as the case study. The work highlights principles of neutrality, transparency, and prevention, while assessing the educational value of the exercise.

The thesis emphasizes the role of structured academic methods in strengthening aviation safety culture.

TABLEAU DES MATIERES:

REMERCIEMENTS:	2
DÉDICACE :	3
LISTE DES ABRÉVIATION:	4
Résumé:	5
TABLEAU DES MATIERES:	6
TABLE DE FIGURES :	9
INTRODUCTION GENERALE:	10
CHAPITRE 1: CADRE THÉORIQUE DES ÉNQUETES DE SÉCURITÉ AÉRONAUTIQUE:	14
1.1 –.Définitions et concepts clés:	15
1.2 –.Origine et évolution des enquêtes aéronautiques :	16
1.3 – Objectifs de l'enquête de sécurité aéronautique :	17
1.4 – Principes fondamentaux de l'enquête selon l'OACI :	18
1.4.1 Finalité exclusivement preventive :	18
1.4.2 Indépendance structurelle de l'autorité d'enquête.	18
1.4.3 Accès complet aux informations et témoins:	19
1.4.4 Protection des données sensibles:	19
1.4.5 Publication transparente du rapport final:.....	19
1.4.6 Coopération international:.....	19
1.5 – Acteurs impliqués dans l'enquête de sécurité aéronautique :	20
1.5.1 L'État d'occurrence:.....	20
1.5.2 L'autorité d'enquête technique:	20
1.5.3 Un représentant accrédité :.....	20
1.5.4 Le commandant de bord et l'équipage:.....	20
1.5.5 Le constructeur et l'opérateur:.....	20
1.5.6 Les experts et laboratoires:.....	20
1.5.7 Le public et les medias:	20
1.6 – Classification des événements selon l'OACI :	20
1.6.1 Accident:.....	20
1.6.2 Incident:.....	21
1.6.3 Incident grave:	21
1.6.4 Autres classifications utiles	21
1.7 – Limites et défis dans la mise en œuvre des enquêtes de sécurité :	22
1.7.1 Contraintes de ressources humaines et techniques :	22

1.7.2 Difficultés d'accès à l'information:	22
1.7.3 Pressions politiques et médiatiques:.....	22
1.7.4 Application inégale des normes de l'OACI:	22
1.7.5 Protection insuffisante des données sensibles:	22
1.7.6 Intégration limitée dans les systèmes de retour d'expérience :.....	22
CHAPITRE 2 :NORMES INTERNATIONALES ET MÉTHODOLOGIE D'ENQUETE :	25
2.1 – Cadre réglementaire international :.....	26
2.2 – organismes internationaux d'enquête ; rôles et pratiques :.....	27
2.2.1 L'OACI :.....	27
2.2.2 Le BEA :	28
2.2.3 Le NTSB :	29
2.2.4 L'AAIB :	30
2.3 – Phase d'une enquête type :.....	31
2.3.1. Notification de l'événement :	31
2.3.2. Accès au site et sécurisation :.....	32
2.3.3. Collecte et préservation des données :	32
2.3.4. Analyse technique et causale :	33
2.3.5. Élaboration du rapport final – Un outil de communication, d'analyse et de prévention :	34
2.3.6 Diffusion, suivi et retour d'expérience :	34
2.4 – Outils d'analyse des causes :	35
2.4.1 Modèle de Reason (« Swiss Cheese ») :	35
2.4.2 Modèle SHELL :	36
2.4.3 Autres outils complémentaires :	37
2.5 – Synthèse critique et perspectives d'amélioration :	38
CHAPITRE 3 : ÉTUDE DE CAS SIMULEE : MÉTHODOLOGIE D'UNE ENQUETE DE SÉCURITÉ APPLIQUÉE À UN INCIDENT D'ATTERISSAGE :.....	42
3.1 – Présentation du contexte général de la simulation :	42
3.2 – Déroulement de l'événement simulé :	43
3.3 – Constitution de l'équipe d'enquête et cadre de référence :	44
3.4 – Collecte des données :	45
3.5 – Analyse des causes probables :	46
3.5.1 Application du modèle de Reason :	46
3.5.2 Application du modèle SHELL :	47
3.6 – Rapport d'enquête simulé : synthèse structurée :	47
3.6.1. Résumé de l'événement :	47
3.6.2. Objectif de l'enquête :	48

3.6.3. Informations factuelles :	48
3.6.4 Analyse technique et humaine :	48
3.6.5. Conclusions :	48
3.6.6. Recommandations :	48
3.7 – Recommandations issues de la simulation :	48
Chapitre 4 : Analyse réflexive de la simulation, enseignements professionnels et perspectives d'amélioration.	52
4.1 – Retour critique sur la simulation :.....	52
4.2 – Enseignements professionnels tirés de la démarche :	53
4.3 – Limites de l'exercice simulé :.....	54
4.4 – Recommandations générales pour le développement de la formation et de la culture de sécurité aérienne :.....	56
4.5 – Perspectives d'évolution et pistes futures de recherche ou de développement	57
CONCLUSION GENERALE :	59
BIBLIOGRAPHIE:	62
ANNEXES:	65
Annexe 1: Modèles analytiques utilisés dans l'enquête :	65
Annexe 2 : Formulaires types utilisés dans l'enquête :	69
Annexe 3 : Extraits de textes réglementaires et normatifs :.....	70
Annexe 4 : Rapport Final d'Enquête Technique	72
Annexe 5: Documents complémentaires et témoignages simulés:	75

TABLE DE FIGURES :

Figure 1.1 - Frise chronologique des événements clés dans l'évolution des enquêtes aéronautiques	17
Figure 1.2 - Classification des événements aéronautiques selon l'OACI	21
Figure 2.1 - Répartition des cases d'accidents d'avions commerciaux (2012-2022).....	31
Figure 2.2 - Modèle de Reason illustrant les défaillances en cascade.....	36
Figure 2.3 - modèle Shell des interactions dans l'environnement aéronautique ...	37
Figure 2.4 - Modèle hiérarchique HFACS.....	38
Figure 2.5 - Comparaison des taux d'accidents et du nombre d'accidents mortels selon les sources officielles (2023-2024).....	39
Figure 3.1 - Chronologie des événements de l'incident simulé.....	44
Figure 3.2 - Représentation du problème technique affectant le train avant.....	45
Figure 4.1 - Analyse SWOT de la démarche méthodologique simulée.....	54
Figure 4.2 - Synthèse visuelle des recommandations opérationnelles.....	55

INTRODUCTION GENERALE:

La sécurité aérienne constitue un pilier essentiel de l'aviation civile internationale. Avec l'accroissement constant du trafic aérien mondial, estimé à plusieurs milliards de passagers chaque année selon l'OACI, les enjeux liés à la prévention des accidents et incidents prennent une dimension stratégique majeure.

Historiquement, chaque accident aérien a contribué à faire évoluer les pratiques et réglementations du secteur, notamment en matière de conception des aéronefs, de formation du personnel et de gestion des risques. Toutefois, malgré les progrès technologiques, humains et organisationnels accomplis au fil des décennies, les risques opérationnels ne peuvent être totalement éliminés.

Dans ce contexte, les enquêtes techniques sur les événements de sécurité sont devenues un levier fondamental de l'amélioration continue. Elles permettent non seulement de comprendre les causes profondes des dysfonctionnements, mais surtout de recommander des mesures préventives destinées à éviter la répétition des mêmes erreurs.

L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), à travers ses annexes et manuels, a instauré un cadre normatif international qui guide les États dans la mise en œuvre de leurs politiques de sécurité, en plaçant l'enquête de sécurité au cœur du système de gestion des risques aéronautiques.

Malgré les normes strictes instaurées par l'OACI et les avancées en matière de gestion de la sécurité, les événements aéronautiques continuent de survenir, parfois avec des conséquences graves. Chaque incident révèle des défaillances potentielles dans les systèmes techniques, humains ou organisationnels, et interroge l'efficacité des dispositifs de prévention existants.

Dans ce contexte, l'enquête de sécurité ne se limite pas à l'analyse des faits : elle s'inscrit dans une démarche systémique visant à comprendre comment et pourquoi l'événement s'est produit, en remontant aux causes profondes. Elle nécessite une méthodologie rigoureuse, impartiale, et conforme aux standards internationaux.

Cependant, dans plusieurs contextes nationaux, la mise en œuvre effective de ces enquêtes demeure partielle ou perfectible. Manque de ressources, formation inadaptée, ou absence d'indépendance peuvent nuire à la qualité des analyses menées. De plus, dans les environnements académiques, peu de travaux appliqués permettent aux étudiants de simuler une enquête de sécurité de manière concrète.

Dès lors, une problématique se pose : comment structurer et appliquer efficacement une enquête de sécurité aéronautique dans un cadre académique ou professionnel, en respectant les exigences internationales ?

L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), agence spécialisée des Nations Unies, a été créée en 1944 dans le but de promouvoir un développement sûr et ordonné de l'aviation civile internationale. À travers ses annexes à la

Convention de Chicago, elle définit des normes et pratiques recommandées (SARPs) auxquelles les États contractants doivent se conformer.

L'Annexe 13, intitulée Enquête sur les accidents et incidents d'aviation, est le document de référence encadrant la conduite des enquêtes techniques. Elle établit les obligations des États en matière de notification, de conservation des preuves, de coopération internationale, et surtout de mise en place d'un organisme d'enquête indépendant chargé d'identifier les causes d'un événement sans rechercher de responsabilités pénales.

L'Annexe 13 insiste sur la dimension préventive de l'enquête : celle-ci vise exclusivement à empêcher que l'événement ne se reproduise, en émettant des recommandations de sécurité à valeur corrective. Cette logique s'oppose à l'approche punitive, en privilégiant l'amélioration des systèmes et des procédures.

L'OACI a également publié des manuels détaillés pour accompagner les états dans l'application de cette annexe, notamment le Doc 9756 (Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation) et le Doc 9859 (Safety Management Manual). Ces documents présentent des méthodologies standardisées

La sécurité aéronautique ne constitue pas uniquement une préoccupation institutionnelle ou industrielle ; elle s'inscrit également comme un enjeu académique majeur, notamment dans les filières de formation en navigation aérienne, gestion de la sécurité, ou exploitation aérienne.

Comprendre les mécanismes d'une enquête de sécurité, ses contraintes, ses objectifs et ses retombées pratiques, est essentiel à la formation des futurs professionnels du secteur.

Pourtant, dans de nombreux programmes de formation, les approches restent souvent théoriques, abstraites, ou peu contextualisées. Il est rare que les étudiants soient confrontés à la reconstruction complète d'un scénario de sécurité, ou à l'application concrète des principes de l'Annexe 13. Or, cette confrontation est précieuse pour développer des compétences transversales en analyse technique, en raisonnement critique, et en gestion du risque.

Dans le contexte algérien, la consolidation du système national de sécurité aérienne passe aussi par l'investissement dans la formation avancée des cadres, qu'ils soient issus de l'administration, de l'exploitation, ou de la maintenance. Des exercices de simulation d'enquêtes, même académiques, permettent non seulement d'assimiler les référentiels internationaux, mais aussi d'adapter les pratiques aux réalités opérationnelles locales.

Ce travail s'inscrit donc à la croisée des enjeux pédagogiques et réglementaires. Il ambitionne de participer, à son échelle, au renforcement de la culture de sécurité en Algérie, en mettant en valeur l'apport de la simulation comme levier d'apprentissage dans les métiers de l'aérien.

Le présent mémoire vise à explorer, de manière structurée et documentée, la conduite d'une enquête de sécurité aéronautique conformément aux normes

internationales édictées par l'OACI, tout en tenant compte du contexte académique et institutionnel algérien.

L'objectif général de ce travail est de proposer un cadre méthodologique applicable à l'analyse d'un évènement de sécurité aérienne dans une logique préventive, en s'appuyant à la fois sur des références normatives et sur une mise en situation simulée.

Pour atteindre cet objectif global, plusieurs objectifs spécifiques ont été identifiés :

Analyser les fondements et les objectifs des enquêtes de sécurité aéronautique, tels que définis par l'Annexe 13 et les documents associés ;

Présenter les principales exigences réglementaires et opérationnelles encadrant le déroulement d'une enquête technique ;

Appliquer cette méthodologie à une étude de cas simulée, portant sur un incident fictif (défaut de la roue avant lors d'un vol d'entraînement) ;

Évaluer la pertinence pédagogique de l'approche par simulation, en vue de formuler des recommandations à destination des structures de formation aéronautique.

Pour aborder la problématique identifiée, ce travail repose sur une méthodologie en deux volets complémentaires : une analyse documentaire approfondie, suivie d'une application pratique à travers

une étude de cas simulée .

Le premier volet consiste en l'examen critique des principales sources normatives et techniques relatives aux enquêtes de sécurité, notamment :

L'Annexe 13 de la Convention relative à l'aviation civile internationale

Le Doc 9756 (Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation) , – Le Doc 9859 (Safety Management Manual) ,

Ainsi que divers rapports d'enquête publiés par des autorités reconnues telles que le BEA (France) ou le NTSB (États-Unis).

Le second volet se matérialise par la reconstitution d'un scénario fictif dans un environnement académique : un incident simulé impliquant un dysfonctionnement de la roue avant d'un aéronef lors d'un vol d'instruction. Ce cas permet de mettre en œuvre, étape par étape, la démarche d'investigation recommandée par l'OACI, depuis la notification de l'évènement jusqu'à la formulation des recommandations de sécurité .

L'objectif de cette méthodologie est double : d'une part, valider la compréhension des principes fondamentaux de l'enquête technique ; d'autre part, tester la faisabilité d'une approche par simulation dans un cadre pédagogique réaliste .

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres principaux, organisés de manière progressive afin de passer du cadre théorique à l'application pratique.

Le chapitre 1 présente le cadre conceptuel et théorique des enquêtes de sécurité aéronautique. Il s'agit d'y définir les termes clés, d'identifier les acteurs intervenants, et d'examiner les fondements historiques et juridiques de l'investigation technique dans le domaine de l'aviation civile.

Le chapitre 2 est consacré à l'analyse des référentiels internationaux et nationaux, avec une attention particulière portée à l'Annexe 13 de l'OACI. Ce chapitre aborde également les étapes méthodologiques d'une enquête, les exigences en matière d'indépendance, de compétences, et de communication des résultats.

Le chapitre 3 expose une étude de cas simulée, inspirée d'un incident fictif, et servant de support d'expérimentation. Chaque phase de l'enquête est reproduite dans un cadre académique : recueil des données, analyse des facteurs contributifs, et formulation des recommandations.

Enfin, le chapitre 4 propose une analyse critique de l'expérience simulée, évalue l'efficacité de l'approche méthodologique adoptée, et formule des recommandations pratiques destinées aux établissements de formation ou aux autorités nationales.

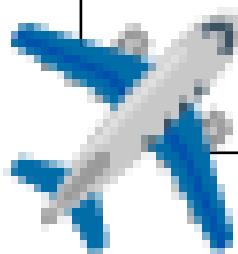
Ce découpage permet d'articuler rigueur académique, conformité réglementaire et utilité pédagogique, en cohérence avec les orientations de l'OACI en matière de sécurité et de formation.

CHAPITRE 1 :

CADRE THEORIQUE DES

ENQUETES DE SECURITE

AERONAUTIQUE.



CHAPITRE 1: CADRE THÉORIQUE DES ÉNQUETES DE SÉCURITÉ AÉRONAUTIQUE:

Ce chapitre établit les bases conceptuelles et normatives de l'enquête de sécurité aéronautique. En s'appuyant sur les textes fondateurs de l'OACI, il vise à définir les notions essentielles, à retracer l'évolution historique des pratiques d'enquête, à identifier les acteurs clés, et à clarifier les objectifs et les principes guidant cette démarche.

Il constitue une fondation indispensable à la compréhension des chapitres suivants, notamment l'application de la méthodologie sur un cas simulé. Sa lecture permet de situer l'enquête dans son contexte global : technique, humain, réglementaire et institutionnel.

1.1.Définitions et concepts clés:

Accident : Un accident est défini par l'OACI comme un événement lié à l'exploitation d'un aéronef, au cours duquel une personne est gravement blessée ou tuée, ou l'aéronef subit des dommages structurels importants. Les accidents déclenchent systématiquement une enquête formelle. Ils peuvent survenir en vol, au sol ou lors d'opérations connexes.

Accident mortel : Il s'agit d'un accident entraînant la mort d'au moins une personne, immédiatement ou dans les jours suivant l'événement, en raison des blessures subies. Ce type d'accident constitue le niveau de gravité maximal dans l'analyse des événements.

Incident : Un incident désigne un événement autre qu'un accident, affectant ou pouvant potentiellement affecter la sécurité des opérations aériennes. Il est souvent révélateur d'un écart ou d'une faiblesse dans les procédures ou comportements.

Incident grave : C'est un sous-type d'incident dans lequel les circonstances indiquent qu'un accident a été évité de peu.

Exemple : approche interrompue à cause d'une mauvaise configuration, quasicollision.

Événement (Occurrence) : Terme générique désignant tout fait affectant la sécurité : accident, incident ou défaillance détectée. Utilisé largement dans les systèmes de gestion de la sécurité (SGS/SMS).

Enquête de sécurité : Il s'agit d'un processus indépendant, technique, objectif, visant à identifier les causes d'un événement dans le seul but d'éviter sa répétition. L'enquête de sécurité exclut toute recherche de faute ou de responsabilité juridique.

Facteur contributif : Tout élément – humain, technique ou organisationnel – ayant joué un rôle dans la survenue de l'événement. L'analyse des facteurs contributifs constitue l'étape centrale de toute enquête.

Cause probable : La cause considérée comme étant la plus susceptible d'avoir entraîné l'événement, en fonction des faits disponibles. Elle figure généralement dans le rapport final.

Recommandation de sécurité : Proposition fondée sur l'enquête, adressée à une autorité ou un opérateur, en vue de corriger ou d'améliorer un aspect du système de sécurité. Elle n'a pas de valeur contraignante, mais son impact est déterminant.

Autorité d'enquête : Organisme d'État indépendant chargé de la conduite des enquêtes. Son autonomie est essentielle pour garantir la neutralité et la crédibilité du processus.

Notificateur : Personne ou entité ayant la responsabilité ou la possibilité de signaler un événement. Il peut s'agir d'un pilote, d'un contrôleur, d'un technicien, ou d'un observateur.

Enregistreurs de vol (FDR & CVR) : Dispositifs installés à bord de l'aéronef permettant d'enregistrer les données de vol (Flight Data Recorder) et les conversations dans le cockpit (Cockpit Voice Recorder). Ils sont cruciaux pour reconstituer la chronologie de l'événement.

Système de gestion de la sécurité (SGS / SMS) : Cadre organisationnel mis en place par les exploitants pour anticiper, identifier et réduire les risques liés à leurs activités. Il s'articule avec les enquêtes de sécurité pour créer une boucle d'amélioration continue.

Rapport préliminaire : Document synthétique transmis par l'autorité d'enquête dans les 30 jours suivant l'événement. Il contient les premières constatations.

Rapport final : Document détaillé exposant les faits, l'analyse, les conclusions et les recommandations. Il est rendu public selon les règles de transparence.

Confidentialité : Principe protégeant certains éléments de l'enquête (témoignages, données personnelles, enregistrements vocaux) contre toute divulgation non autorisée.

Transparence : Obligation de diffuser les résultats des enquêtes pour renforcer la confiance du public et améliorer les pratiques.

Prévention : Objectif ultime de toute enquête de sécurité : éviter que le même événement ne se reproduise.

1.2. Origine et évolution des enquêtes aéronautiques :

L'histoire des enquêtes de sécurité aéronautique reflète l'évolution du transport aérien lui-même, tant sur les plans techniques que réglementaire. À ses débuts, l'analyse des accidents était centrée sur la désignation de fautes humaines, sans cadre méthodologique structuré. Au fil des décennies, cette approche a laissé place à une logique préventive, systémique et non punitive.

Un tournant majeur a été franchi en 1944 avec la signature de la Convention de Chicago, établissant l'OACI comme organe international de référence.

L'adoption ultérieure de l'Annexe 13 a permis de formaliser la conduite des enquêtes, en imposant aux États membres des règles communes, centrées sur la transparence, l'indépendance et la prévention.

L'évolution des enquêtes a également été fortement influencée par plusieurs accidents majeurs à travers l'histoire, qui ont révélé des failles techniques, humaines ou organisationnelles. Ces événements ont systématiquement conduit à des ajustements réglementaires, à l'introduction de nouvelles technologies (comme les enregistreurs de vol), et à l'émergence d'une culture de sécurité proactive.

Aujourd'hui, les enquêtes sont menées de manière multidisciplinaire, intégrant l'analyse technique, les facteurs humains, la gestion des risques, et les retours d'expérience.

La frise chronologique suivante illustre les étapes marquantes de cette évolution.

1944 : Convention de Chicago – Création de l'OACI

1951 : Première édition de l'Annexe 13 – Cadre normatif initial

1977 : Catastrophe de Tenerife – Introduction des facteurs humains

1998 : Publication du Doc 9756 – Méthodologie normalisée d'enquête

2009 : Crash du vol AF447 – Analyse approfondie des données et des facteurs humains

2013 : Version enrichie du Doc 9859 – Intégration du SGS

2019 : Crise du 737 MAX – Réflexion sur la certification et l'indépendance des autorités



Figure 1.1 – Frise chronologique des événements clés dans l'évolution des enquêtes aéronautiques.

1.3.Objectifs de l'enquête de sécurité aéronautique :

L'enquête de sécurité aéronautique, telle que définie par l'OACI dans l'Annexe 13, est une activité à caractère technique, dont la finalité première est la prévention des accidents et incidents futurs. Contrairement aux procédures judiciaires ou administratives, elle ne vise ni à déterminer des responsabilités individuelles, ni à sanctionner les acteurs impliqués.

L'objectif principal de l'enquête est de comprendre les causes profondes ayant conduit à l'événement étudié. Il ne s'agit pas simplement de pointer une erreur humaine ou une défaillance technique, mais d'identifier l'enchaînement des facteurs – humains, matériels, organisationnels – qui ont convergé vers l'occurrence. Cette approche s'inscrit dans une logique systémique, où chaque maillon du système est analysé.

En ce sens, l'enquête contribue à nourrir une boucle d'amélioration continue au sein de l'écosystème aéronautique : les résultats d'analyse donnent lieu à des recommandations de sécurité, adressées aux autorités, exploitants, constructeurs ou organismes de formation. Ces recommandations peuvent porter sur la modification de procédures, l'adaptation de programmes de formation, la conception technique des aéronefs, ou encore la gestion des ressources humaines.

L'OACI insiste également sur le rôle de l'enquête dans la diffusion de la culture de sécurité. En rendant les rapports publics, les États favorisent la transparence, la confiance des usagers, et la diffusion des enseignements tirés à l'échelle internationale. L'enquête devient alors un outil de partage d'expérience aussi bien qu'un levier de régulation.

Enfin, dans le cadre d'un Système de Gestion de la Sécurité (SGS), les résultats des enquêtes sont intégrés aux indicateurs de performance, servant à ajuster les politiques de prévention et à renforcer la résilience du système aérien.

1.4.Principes fondamentaux de l'enquête selon l'OACI :

L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), à travers son Annexe 13 intitulée "Enquête sur les accidents et incidents d'aviation", établit un ensemble de principes qui encadrent la conduite des enquêtes de sécurité. Ces principes visent à garantir l'efficacité, la neutralité, et l'utilité préventive des investigations, en assurant leur conformité aux exigences internationales.

1.4.1 Finalité exclusivement preventive : L'article 3.1 de l'Annexe 13 précise que : « L'unique objet de cette activité est la prévention des accidents et incidents. Elle ne vise pas à la détermination de fautes ou de responsabilités. » Cela signifie que l'enquête technique n'a aucune vocation répressive ou disciplinaire. Elle est conduite dans un esprit d'amélioration continue, pour éviter la répétition des mêmes erreurs. Ce principe encourage la coopération volontaire des acteurs et garantit la neutralité de l'analyse.

1.4.2 Indépendance structurelle de l'autorité d'enquête: L'article 5.4 de l'Annexe 13 stipule : « L'État menant l'enquête doit s'assurer que l'autorité chargée de l'enquête est indépendante de toute autorité réglementaire de l'aviation civile et de toute autre partie dont les intérêts pourraient entrer en conflit avec la mission confiée. » Cette exigence garantit l'objectivité du processus et la confiance dans ses résultats. En Algérie, cette obligation est mise en application via le décret exécutif n° 06-

175 du 11 mai 2006, portant création du Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA-Algérie). L'article 2 dudit décret affirme : « Le bureau dispose de l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ses missions et n'est

soumis à aucune autorité dans la conduite de ses enquêtes. » Toutefois, des efforts restent nécessaires pour renforcer les moyens techniques et l'encadrement légal de cette indépendance.

1.4.3 Accès complet aux informations et témoins: Selon l'article 5.10, l'autorité d'enquête doit disposer d'un accès illimité :

Au site de l'événement,

À l'épave et aux enregistreurs de vol (FDR et CVR),

Aux données techniques et opérationnelles,

Aux personnes concernées (membres d'équipage, témoins). Tout refus d'accès peut compromettre l'objectivité de l'analyse.

1.4.4 Protection des données sensibles: L'article 5.12 prévoit que certaines données recueillies lors de l'enquête ne doivent pas être rendues publiques sans consentement :

Témoignages confidentiels,

Enregistrements du poste de pilotage,

Informations médicales ou personnelles. Cette protection vise à préserver la vie privée, encourager la franchise, et protéger les enquêteurs contre toute utilisation abusive des données.

1.4.5 Publication transparente du rapport final: L'article 6.5 de l'Annexe 13 oblige les autorités d'enquête à publier un rapport final public, comportant :

Les faits établis,

L'analyse des causes,

Les recommandations de sécurité. Ce rapport est transmis à l'OACI si l'accident est significatif au niveau international. Cette transparence permet l'amélioration globale de la sécurité.

1.4.6 Coopération internationale: Conformément à l'article 5.18, l'État menant l'enquête doit inviter les représentants des États :

D'immatriculation,

D'exploitation,

De conception,

De fabrication. Ce droit de participation garantit une vision complète et une coopération transfrontalière dans l'analyse des faits.

En conclusion, les principes fondamentaux définis par l'OACI dans l'Annexe 13 forment une architecture indispensable à toute enquête sérieuse. Leur mise en œuvre conditionne la confiance du public et des acteurs aéronautiques dans le système de sécurité mondial.

1.5 Acteurs impliqués dans l'enquête de sécurité aéronautique :

L'enquête de sécurité est un processus complexe mobilisant une diversité d'acteurs aux rôles et statuts variés. L'OACI, dans l'Annexe 13 et le Doc 9756, décrit les catégories d'intervenants essentiels dans une enquête technique.

1.5.1 L'État d'occurrence: C'est l'État sur le territoire duquel l'accident ou l'incident est survenu. Il a la responsabilité principale de conduire l'enquête, sauf entente contraire. Il désigne l'autorité d'enquête officielle, en charge de coordonner l'ensemble de la procédure.

1.5.2 L'autorité d'enquête technique: Il s'agit de l'organisme indépendant mandaté pour mener l'investigation. Exemples : BEA (France), NTSB (USA), BEA-Algérie. Elle regroupe des experts dans divers domaines : opérations, maintenance, facteurs humains, etc.

1.5.3 Un représentant accrédité : L'État d'immatriculation, d'exploitation, de conception et de fabrication. Chacun de ces États peut nommer un représentant accrédité, qui participe à l'enquête avec droit d'accès, d'observation et de communication avec son État. Leur rôle est d'apporter les compétences techniques et l'information spécifique sur l'aéronef.

1.5.4 Le commandant de bord et l'équipage: Ils peuvent être interrogés, apporter leur témoignage, et fournir des informations critiques sur le comportement de l'aéronef et les décisions prises.

1.5.5 Le constructeur et l'opérateur: Le fabricant de l'aéronef et l'exploitant (compagnie aérienne) doivent coopérer avec l'enquête : accès aux données techniques, aux dossiers de maintenance, aux formations du personnel.

1.5.6 Les experts et laboratoires: Dans les cas complexes, l'autorité d'enquête peut recourir à des experts extérieurs (analyse mécanique, simulation, médecine aéronautique, etc.) ou à des laboratoires d'investigation technique.

1.5.7 Le public et les médias: Bien que non impliqués directement, ils sont impactés par l'accident. L'autorité d'enquête doit communiquer de façon responsable pour éviter les rumeurs et respecter la mémoire des victimes.

Chaque acteur agit dans un cadre de coopération clairement défini, sous la coordination de l'autorité principale. Leur implication est essentielle à la qualité et à la complétude de l'analyse.

1.6 Classification des événements selon l'OACI :

La classification des événements aéronautiques constitue une étape essentielle dans le processus d'enquête. Elle permet de déterminer le niveau de gravité d'un fait, d'orienter les mesures à prendre, et de fixer les obligations de rapport.

L'OACI, dans l'Annexe 13, définit clairement les catégories principales.

1.6.1 Accident: Défini comme un événement survenant entre le moment où une personne monte à bord avec l'intention de voler et le moment où toutes les personnes ont quitté l'appareil, au cours duquel :
Une personne subit une blessure grave ou mortelle,

L'aéronef subit des dommages ou une détérioration structurelle importante,

L'appareil est porté disparu ou totalement inaccessible.

1.6.2 Incident: Événement, autre qu'un accident, qui affecte ou pourrait affecter la sécurité de l'exploitation. Les incidents incluent par exemple :
Perte momentanée de communication,

Déviation non autorisée de trajectoire,

Dépassement de limite opérationnelle sans conséquence.

1.6.3 Incident grave: Catégorie intermédiaire qui présente des circonstances indiquant qu'un accident a failli se produire. Exemples :
Atterrissage manqué en condition critique,

Quasi-collision en vol,

Panne sérieuse contrôlée in extremis.

1.6.4 Autres classifications utiles: Le terme « événement » (« occurrence ») est souvent utilisé dans les systèmes de gestion de la sécurité pour regrouper les trois catégories précédentes. Il permet d'enregistrer tous les faits, y compris ceux qui ne relèvent pas formellement d'une enquête obligatoire.

La classification correcte d'un événement est essentielle pour décider :

Si une enquête est exigée,

Quel niveau d'analyse est approprié,

Quelles obligations de rapport s'appliquent (rapports préliminaires ou finaux).

Le schéma ci-dessous présente la classification officielle des événements aéronautiques selon l'OACI, telle que définie dans l'Annexe 13. Cette typologie distingue trois catégories principales : accident, incident grave et incident, en fonction du niveau de gravité et de l'impact sur la sécurité. Elle constitue une base essentielle pour déterminer l'orientation de l'enquête et les obligations de notification. Comprendre cette classification permet de mieux structurer l'analyse des faits et d'adapter les moyens d'investigation à chaque type d'événement.

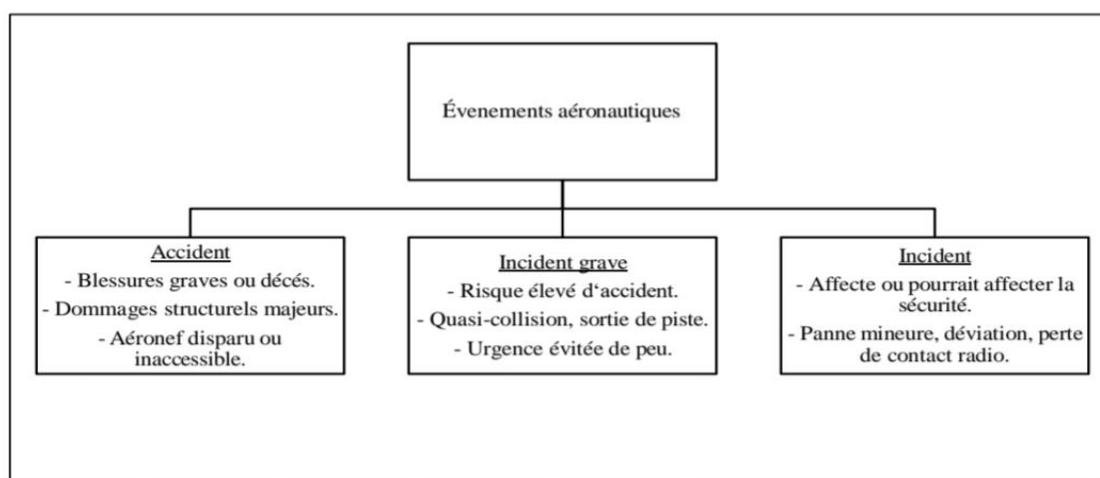


Figure 1.2 – Classification des événements aéronautiques selon l'OACI.

1.7 Limites et défis dans la mise en œuvre des enquêtes de sécurité :

Malgré les progrès accomplis en matière de réglementation et de méthodologie, la mise en œuvre des enquêtes de sécurité aéronautique continue de se heurter à plusieurs défis opérationnels, institutionnels et humains. Ces limites varient selon les pays, les contextes culturels, les ressources disponibles et les environnements politiques.

1.7.1 Contraintes de ressources humaines et techniques : Dans de nombreux États, y compris ceux en développement, les autorités d'enquête manquent de personnel qualifié et de moyens technologiques adaptés. Le manque de formation spécialisée, l'insuffisance de simulateurs d'analyse, ou encore l'absence d'unités mobiles d'investigation limitent l'efficacité et la rapidité des enquêtes.

1.7.2 Difficultés d'accès à l'information: Bien que l'article 5.10 de l'Annexe 13 garantisse un droit d'accès total aux données et aux témoins, dans la pratique, certaines compagnies ou institutions peuvent freiner ou retarder la transmission d'éléments essentiels, invoquant des raisons juridiques, commerciales ou de confidentialité.

1.7.3 Pressions politiques et médiatiques: Les enquêtes sur des accidents majeurs peuvent susciter des pressions médiatiques et politiques importantes. Cela peut nuire à l'indépendance de l'enquête, conduire à des conclusions hâtives, ou détourner l'attention de l'analyse technique rigoureuse.

1.7.4 Application inégale des normes de l'OACI: Certains États n'ont pas encore transposé entièrement les exigences de l'Annexe 13 dans leur droit national, ou ne les appliquent pas de manière systématique. Cela crée des écarts de qualité entre les enquêtes, et complique la coopération internationale.

1.7.5 Protection insuffisante des données sensibles: Malgré les dispositions de l'article 5.12, des fuites médiatiques de CVR ou de témoignages confidentiels sont régulièrement observées. Cela affaiblit la confiance dans le processus d'enquête et peut dissuader certains témoins de coopérer pleinement.

1.7.6 Intégration limitée dans les systèmes de retour d'expérience : Dans certaines structures, les rapports d'enquête ne sont pas toujours exploités de manière proactive. Ils restent sous-utilisés dans les programmes de formation, les revues de sécurité internes ou les politiques de prévention, alors qu'ils devraient constituer un pilier de l'amélioration continue.

En conclusion, la réussite d'une enquête de sécurité ne repose pas uniquement sur l'existence de textes réglementaires, mais sur leur mise en œuvre effective, le respect des principes fondamentaux, et l'engagement de tous les acteurs concernés à promouvoir une culture de sécurité durable et transparente.

À travers ce premier chapitre, nous avons posé les fondements essentiels de l'enquête de sécurité aéronautique. De la définition précise des événements aux principes éthiques et réglementaires qui guident l'investigation, en passant par l'identification des acteurs impliqués et la typologie des cas, le lecteur dispose désormais d'un cadre conceptuel clair et structuré.

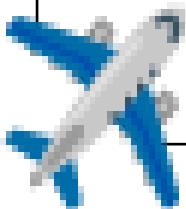
Ce socle théorique est indispensable pour aborder les chapitres suivants, notamment celui relatif aux normes internationales et à la méthodologie

opérationnelle (chapitre 2), ainsi que l'étude de cas simulée (chapitre 3), où ces concepts seront appliqués à une situation réaliste.

CHAPITRE 2:

NORMES INTERNATIONALES ET

MÉTHODOLOGIE D'ENQUETE.



CHAPITRE 2 :NORMES INTERNATIONALES ET MÉTHODOLOGIE D'ENQUETE :

La sécurité aérienne repose sur un ensemble de dispositifs normatifs et opérationnels élaborés pour garantir la maîtrise des risques inhérents aux opérations aériennes. Si l'évolution technologique et l'organisation du travail ont permis de réduire significativement le nombre d'accidents au fil des décennies, le risque zéro n'existe pas, et chaque incident ou accident demeure porteur de leçons. C'est dans cette optique que les enquêtes de sécurité ont été institutionnalisées à l'échelle mondiale, afin de comprendre les causes profondes des événements, prévenir leur répétition et renforcer la résilience du système aéronautique.

L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), à travers l'Annexe 13 de la Convention de Chicago, a posé les fondations réglementaires encadrant les enquêtes sur les accidents et incidents d'aviation. Cette normalisation internationale vise à assurer l'harmonisation des pratiques entre les États, à garantir l'indépendance des investigations, et à promouvoir un retour d'expérience structuré au service de la prévention. Dans ce contexte, chaque État est appelé à intégrer dans son dispositif juridique les exigences de l'OACI, à travers la désignation d'un organisme d'enquête indépendant et le respect de principes fondamentaux tels que la non-culpabilité, la transparence, et l'objectivité.

Mais au-delà du cadre juridique, l'efficacité d'une enquête repose également sur la mise en œuvre d'une méthodologie rigoureuse, structurée en étapes successives allant de la notification de l'événement à la diffusion des résultats finaux. Cette méthodologie, qui s'appuie sur des outils d'analyse variés – tels que le modèle SHELL ou le modèle de Reason –, permet de dégager les causes profondes d'un événement en tenant compte des facteurs humains, organisationnels, techniques et environnementaux. Elle constitue le cœur du travail de l'enquêteur, et conditionne directement la pertinence des recommandations émises.

Par ailleurs, les acteurs impliqués dans le domaine de l'enquête sont multiples et agissent à différents niveaux : instances internationales, autorités nationales, constructeurs, exploitants, et même les médias ou les familles des victimes. Chacun joue un rôle particulier, encadré par des règles de coopération, de confidentialité, et de responsabilité. L'efficacité du système global dépend en grande partie de la coordination de ces intervenants, mais aussi de leur capacité à intégrer les résultats des enquêtes dans une logique d'amélioration continue, à travers les systèmes de gestion de la sécurité (SGS).

Dans le cadre de ce chapitre, nous étudierons tout d'abord les bases réglementaires internationales qui structurent les enquêtes de sécurité aéronautique, avant d'examiner le rôle des principaux organismes d'enquête, le déroulement type d'une investigation, les méthodes analytiques mobilisées, ainsi que les modalités de communication et de retour d'expérience. Cette exploration constituera une transition

logique vers le chapitre 3, qui appliquera les éléments étudiés dans une étude de cas simulée.

2.1 : Cadre réglementaire international :

L'enquête de sécurité aéronautique est régie par un socle juridique international structuré autour de la Convention relative à l'aviation civile internationale, signée à Chicago en 1944. Ce texte fondateur établit les bases de la coopération entre États en matière d'aviation civile. Son article 26 stipule : « En cas d'accident survenu à un aéronef d'un État contractant sur le territoire d'un autre État contractant, une enquête sur les circonstances de l'accident sera ouverte par l'État sur le territoire duquel l'accident s'est produit. »

Cet article fonde l'obligation juridique de l'État d'occurrence d'engager une enquête technique, indépendamment de toute procédure judiciaire ou administrative. Cependant, il reste volontairement général et ne précise ni les méthodes d'enquête ni les standards attendus. C'est pourquoi l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale) a développé des documents normatifs complémentaires, dont l'Annexe 13, intitulée « Enquêtes sur les accidents et incidents d'aviation ».

L'Annexe 13 constitue la référence mondiale en matière d'investigation aéronautique. Elle définit les types d'événements à notifier (accident, incident grave, incident), les rôles respectifs des États impliqués (État d'occurrence, d'immatriculation, de conception...), ainsi que les modalités de conduite d'une enquête. Elle impose également des principes fondamentaux :

- + Indépendance de l'organe d'enquête,
- + Objectif exclusivement préventif,
- + Non-désignation de responsabilité,
- + Protection des enregistreurs de vol,
- + Transparence dans la publication des rapports.

Selon l'OACI :

« L'objectif unique de l'enquête sur un accident ou un incident est la prévention de futurs accidents et incidents, et non la détermination des fautes ou responsabilités.»

Ce positionnement est essentiel : il vise à encourager la remontée libre d'informations sans crainte de sanction, dans une logique d'apprentissage collectif. Ce modèle diffère de systèmes juridiques accusatoires où la recherche de la faute est centrale.

Pour soutenir l'application de ces principes, l'OACI a également publié le Doc 9756 – Manuel d'enquête sur les accidents et incidents d'aviation, qui détaille les bonnes pratiques relatives à la conduite de l'enquête : sécurisation du site, collecte

de données, entretiens avec l'équipage, exploitation des enregistreurs (CVR/FDR), rédaction du rapport final.

À cela s'ajoute le programme USOAP (Universal Safety Oversight Audit Programme), qui permet à l'OACI d'évaluer périodiquement le degré de conformité des États. Selon le rapport OACI 2023, seuls 54 % des États membres disposent d'un organisme d'enquête pleinement conforme aux exigences d'indépendance, de compétence technique et de transparence (source : USOAP CMA Audit Results, OACI, 2023).

En somme, le cadre réglementaire international s'impose comme un pilier essentiel de la sécurité aéronautique mondiale. Il ne se limite pas à un formalisme juridique, mais incarne une culture de prévention, de coopération transfrontalière et de responsabilisation des acteurs du secteur.

2.2 : organismes internationaux d'enquête ; rôles et pratiques :

2.2.1 L'OACI : Autorité normative mondiale en matière d'enquêtes aéronautiques : L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), fondée en 1944 à la suite de la Convention de Chicago, constitue le pilier fondamental de la gouvernance mondiale de l'aviation civile. En tant qu'agence spécialisée des Nations Unies, elle regroupe 193 États membres et a pour mission principale d'assurer un développement sûr, ordonné et harmonisé du transport aérien international. Son rôle n'est pas opérationnel, mais strictement normatif et de supervision : elle élabore les Standards and Recommended Practices (SARPs) applicables aux états, les accompagne dans leur mise en œuvre, et vérifie leur conformité. En matière d'enquête de sécurité, le texte de référence publié par l'OACI est l'Annexe 13 de la Convention de Chicago, intitulée « Enquêtes sur les accidents et incidents d'aviation ». Ce document définit de manière standardisée :

- + Les types d'événements à notifier (accident, incident grave, incident) ;
- + Les responsabilités respectives des États concernés (État d'occurrence, d'immatriculation, de conception...) ;
- + Les principes fondamentaux devant régir toute investigation : indépendance, impartialité, confidentialité, non-désignation de fautes, et objectif purement préventif.

Ce dernier point est explicitement rappelé dans le paragraphe 3.1 de l'Annexe 13 :

« L'objectif unique de l'enquête sur un accident ou un incident est la prévention de futurs accidents et incidents, et non la détermination des fautes ou responsabilités. »

En soutien à cette norme, l'OACI publie également des documents techniques comme le Doc 9756 – Manuel d'enquête sur les accidents et incidents d'aviation, qui sert de guide pratique aux enquêteurs. Il décrit les méthodes recommandées de collecte d'information, d'analyse technique et humaine, ainsi que les modèles de rapport.

Par ailleurs, l'OACI a mis en place le programme USOAP – Universal Safety Oversight Audit Programme, chargé d'évaluer la capacité des États à superviser la sécurité, y compris l'indépendance et l'efficacité de leurs organes d'enquête. En 2023, selon les résultats de l'USOAP CMA, seulement 54 % des États membres disposaient d'un dispositif pleinement conforme à l'Annexe 13 (source : OACI, USOAP Audit Results, 2023). Ces écarts illustrent les défis d'harmonisation auxquels l'OACI est confrontée, notamment dans les pays à faibles ressources.

Enfin, l'organisation centralise les données issues des rapports d'enquêtes dans des bases internationales comme ADREP (Accident/Incident Data Reporting), utilisées pour alimenter la base ECCAIRS (European Co-ordination Centre for Accident and Incident Reporting Systems). Ces outils favorisent la standardisation des données, l'analyse statistique mondiale et le partage d'expérience entre autorités.

En somme, l'OACI ne mène pas elle-même les enquêtes, mais elle joue un rôle capital : définir les règles du jeu, en assurer le respect, et promouvoir une culture de la sécurité fondée sur l'analyse, la coopération internationale et la prévention.

2.2.2 Le BEA : une référence européenne en matière d'enquête technique. Le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA) est l'un des organismes d'enquête aéronautique les plus reconnus au monde. Créé par décret en 1946 et réorganisé juridiquement en 1999, il est placé sous la tutelle du ministère chargé des Transports, mais fonctionne de manière indépendante des autorités réglementaires (DGAC), des constructeurs, des compagnies aériennes et des juridictions. Cette indépendance, exigée par l'Annexe 13 de l'OACI, garantit la neutralité de ses investigations.

La mission du BEA est de mener des enquêtes techniques sur les accidents et incidents graves impliquant des aéronefs civils, survenus sur le territoire français ou à l'étranger si la France est État d'immatriculation, de conception ou de fabrication. Son objectif est exclusivement préventif, sans désignation de responsabilité civile ou pénale.

Le BEA se distingue par une organisation hautement structurée, regroupant des experts multidisciplinaires : ingénieurs en aéronautique, spécialistes des enregistreurs de vol (CVR/FDR), médecins spécialistes en facteurs humains, psychologues, experts en maintenance, etc. Il dispose également de moyens techniques avancés, comme un laboratoire d'analyse des enregistreurs et un simulateur de poste de pilotage.

La méthodologie d'enquête du BEA suit rigoureusement le modèle de l'OACI : sécurisation du site, collecte de preuves matérielles et de données radar, exploitation des enregistreurs, interviews, reconstitution des faits, analyse systémique des facteurs contributifs, puis rédaction d'un rapport final public. Ces rapports sont consultables librement sur le site officiel (<https://bea.aero>), ce qui témoigne d'une grande transparence. Le BEA publie aussi des rapports intermédiaires et des recommandations urgentes lorsque nécessaire.

Exemple majeur : L'enquête du vol Air France 447 (Rio-Paris), disparu au-dessus de l'Atlantique en 2009, a constitué l'une des plus complexes de l'histoire. Après une recherche en mer de plusieurs mois, le BEA a reconstitué les événements grâce à la récupération tardive des boîtes noires. Le rapport final a mis en lumière une combinaison de défaillances : givrage des sondes Pitot, réponse inadaptée des pilotes, et ambiguïté des interfaces homme-machine. Cette enquête a profondément influencé la formation des équipages et les pratiques en matière de gestion de vol.

Le BEA participe activement à des instances internationales comme le RECI (Réseau européen des autorités d'enquête), les groupes de travail de l'OACI et de l'EASA, et fournit régulièrement des formations à l'étranger. Il publie aussi chaque année un rapport d'activité statistique riche en données sur les événements traités, le suivi des recommandations, et l'évolution des risques. En somme, le BEA est reconnu pour sa rigueur, son expertise et sa transparence. Il constitue un modèle de référence en Europe, conciliant excellence technique et exigence de communication publique.

2.2.3 Le NTSB : un modèle d'indépendance et de puissance d'investigation le national Transportation Safety Board (NTSB) est l'organisme fédéral indépendant chargé des enquêtes sur les accidents de transport aux États-Unis, tous modes confondus : aviation, ferroviaire, maritime, routier et pipelines. Créé en 1967, il est reconnu pour sa totale indépendance institutionnelle, puisqu'il ne dépend d'aucune autorité de régulation (comme la FAA), ni d'aucun ministère. Cette autonomie lui confère une crédibilité renforcée dans ses missions.

En matière aéronautique, le NTSB conduit des enquêtes approfondies sur les accidents d'aviation civile aux États-Unis ou impliquant des aéronefs américains à l'étranger. Il bénéficie d'un accès total aux sites d'accident, aux enregistreurs de vol, aux documents techniques et peut assigner des témoignages. Il travaille en étroite collaboration avec les constructeurs (comme Boeing), les exploitants, la FAA, et les syndicats de pilotes, tout en maintenant une position neutre.

Le NTSB se distingue par son approche très documentée et systémique. Chaque enquête donne lieu à un rapport final détaillé, intégrant des reconstitutions 3D, des analyses de maintenance, de facteurs humains, et des recommandations ciblées adressées aux autorités ou aux industriels. Il a notamment enquêté sur l'accident du vol Alaska Airlines 261 (2000), révélant une usure du mécanisme de profondeur mal détectée, ce qui a entraîné des réformes majeures dans les procédures de maintenance.

Les rapports du NTSB sont publics et disponibles en ligne (www.ntsb.gov).

L'organisme est aussi un acteur influent dans la législation américaine, car ses recommandations sont souvent reprises dans les politiques publiques, renforçant ainsi la sécurité à l'échelle nationale.

2.2.4 L'AAIB : une tradition d'enquête fondée sur la clarté et l'efficacité La Air Accidents Investigation Branch (AAIB) est l'organisme officiel chargé des enquêtes sur les accidents et incidents d'aviation civile au Royaume-Uni. Fondée dès 1915, elle figure parmi les plus anciennes autorités d'enquête au monde. Elle relève administrativement du Department for Transport, mais bénéficie d'une autonomie fonctionnelle, conformément aux exigences de l'OACI sur l'indépendance des investigations.

L'AAIB enquête sur tout événement impliquant un aéronef civil sur le sol britannique ou dans l'espace aérien du Royaume-Uni, et peut être invitée à participer à des enquêtes à l'étranger lorsque l'État d'occurrence sollicite son expertise. Elle est composée d'équipes pluridisciplinaires comprenant des enquêteurs pilotes, ingénieurs aéronautiques, spécialistes CVR/FDR, et experts en facteurs humains.

Ce qui distingue l'AAIB est son approche très structurée et pédagogique. Ses rapports sont connus pour leur lisibilité, leur concision et leur accessibilité au grand public. Chaque rapport comprend :

- + Un résumé non technique clair,
- + Des illustrations, photos, croquis,
- + Des analyses précises sans jargon inutile.

Parmi ses enquêtes notables figure celle du vol British Midland 092 (1989), où l'erreur de coupure du mauvais moteur après une panne a mis en évidence un défaut dans la conception des instruments de bord et une formation insuffisante des équipages. Cette affaire a marqué un tournant dans la gestion des pannes moteurs et la formation CRM (Crew Resource Management).

L'AAIB publie également des bulletins mensuels, ainsi que des recommandations de sécurité urgentes. Elle participe aux initiatives européennes (EASA, RECI) et constitue un modèle de communication technique orienté vers l'apprentissage collectif et la prévention.

La compréhension des causes d'accidents aériens repose non seulement sur des analyses qualitatives, mais aussi sur des données statistiques globales. Les études réalisées sur la période 2012–2022 montrent une prédominance des erreurs humaines parmi les facteurs contributifs. La figure suivante illustre cette répartition moyenne, offrant une vue synthétique des principales catégories identifiées à travers les rapports d'enquête internationaux :

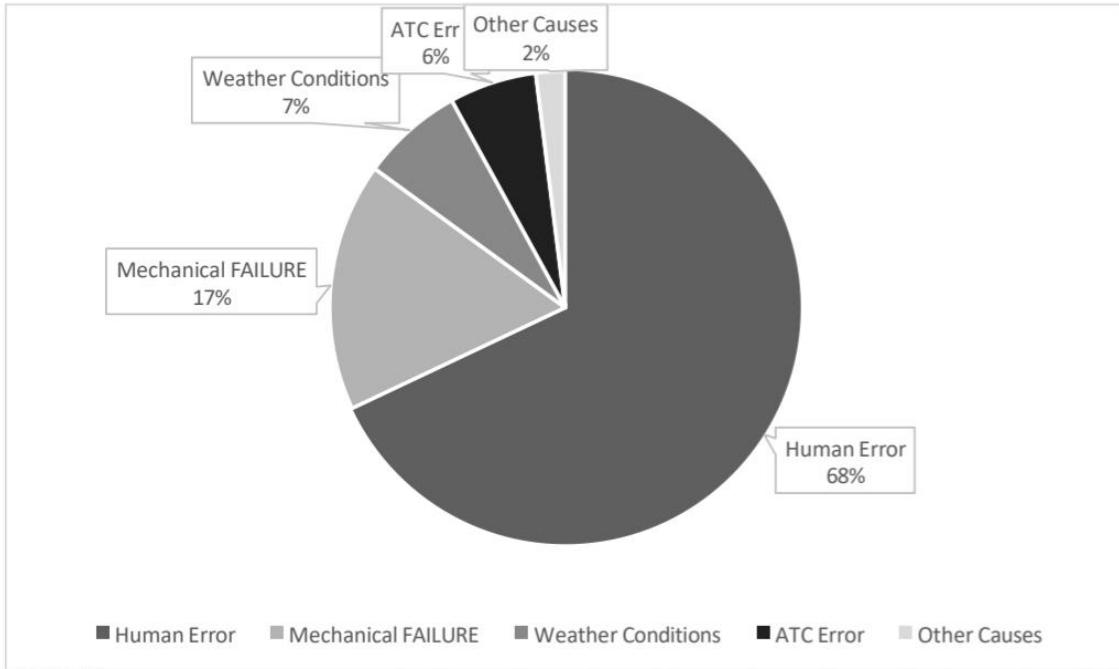


FIGURE 2.1 : Répartition des causes d'accidents d'avions commerciaux (2012-2022).

2.3 : PHASE D'UNE ENQUETE TYPE :

Une enquête de sécurité aéronautique suit un processus rigoureux, structuré et codifié selon les normes internationales définies principalement par l'Annexe 13 de l'OACI et le Doc 9756. Ce processus se compose de six grandes phases, conçues pour garantir une approche systématique, objective et préventive de l'analyse des accidents ou incidents graves.

2.3.1. Notification de l'événement : La notification constitue le point de départ de toute enquête de sécurité aéronautique. Elle est régie par le chapitre 4 de l'Annexe 13 de l'OACI, qui impose à l'État sur le territoire duquel un accident ou un incident grave survient de le signaler immédiatement aux autres États concernés. Il s'agit notamment de l'État d'immatriculation de l'aéronef, de l'État de l'exploitant, de celui du constructeur (cellule, moteurs) et de celui de conception. Cette notification est également transmise à l'OACI si l'aéronef concerné a une masse maximale au décollage supérieure à 5 700 kg.

La notification se fait généralement par l'envoi d'un formulaire ICAO standard, contenant des informations factuelles de première main : heure, lieu, type d'aéronef, nombre de personnes à bord, nature des dommages, conditions météorologiques, etc. Cette transmission rapide vise à permettre aux États concernés de désigner sans délai des représentants accrédités (Accredited Representatives) qui participeront à l'enquête selon les dispositions prévues aux articles 5 et 6 de l'Annexe 13.

L'État d'occurrence doit également nommer un Investigateur Responsable (Investigator-In-Charge, IIC). Ce dernier coordonnera toutes les activités de l'enquête, y compris l'accès au site, la gestion des données, les contacts avec les médias et les autorités judiciaires. Il agit en tant que garant de la neutralité, de

l'impartialité et de la conformité méthodologique de l'enquête. À ce stade, la transparence, la communication rapide et l'activation du cadre de coopération internationale conditionnent en grande partie l'efficacité de la suite de l'investigation.

2.3.2. Accès au site et sécurisation : Dès qu'un accident est signalé, l'une des priorités de l'autorité d'enquête est d'obtenir un accès rapide au site de l'événement afin de préserver l'intégrité des preuves et de sécuriser l'environnement. Cette phase est particulièrement critique, car elle conditionne la fiabilité de toutes les observations et conclusions ultérieures. Conformément au Doc 9756 (Partie II, Chapitre 2), les enquêteurs doivent établir une coordination étroite avec les premiers intervenants : pompiers, forces de l'ordre, services médicaux, ainsi que les autorités judiciaires si des pertes humaines sont en jeu.

L'objectif principal est d'éviter toute contamination, altération ou disparition d'éléments matériels. Cela implique l'établissement d'un périmètre de sécurité, la documentation photographique systématique de la scène, le balisage des débris et la récupération des enregistreurs de vol (CVR et FDR) en respectant la chaîne de traçabilité. Dans les cas complexes, des drones, des scanners 3D ou des relevés topographiques peuvent être utilisés pour cartographier le site. Les enquêteurs relèvent aussi les conditions météorologiques locales, les traces sur la végétation ou le sol, et tout indice pouvant renseigner sur la trajectoire finale ou la dynamique de l'impact. Chaque pièce récupérée est étiquetée, inventoriée et transférée dans des laboratoires agréés pour expertise. En parallèle, un rapport de site initial est souvent rédigé dans les 24 à 48 heures suivant l'intervention.

Cette phase peut aussi inclure la coordination avec des enquêteurs étrangers si l'accident implique des intérêts internationaux, conformément aux articles 5 et 6 de l'Annexe 13. Dans tous les cas, la protection des données sensibles, des restes humains et des biens personnels des victimes est également une priorité éthique et légale.

2.3.3. Collecte et préservation des données : Une fois le site sécurisé, la troisième phase consiste à collecter, inventorier et conserver toutes les données pertinentes pour l'analyse technique et contextuelle de l'événement. Cette étape, centrale dans la méthodologie de l'enquête, s'étend bien au-delà de la simple récupération des débris : elle vise à reconstituer le contexte opérationnel, humain, technique et environnemental ayant précédé l'événement.

Parmi les sources essentielles figurent les enregistreurs de vol (FDR/CVR), qui permettent de retracer les paramètres techniques de l'aéronef (altitude, vitesse, configuration, actions de l'équipage), ainsi que les communications et les sons perçus dans le poste de pilotage. Ces enregistreurs sont transférés dans des laboratoires agréés, souvent sous scellés, et leur analyse suit un protocole strict pour garantir la validité juridique et technique des données extraites.

- + Les enquêteurs recueillent également :
- + Les données radar et les bandes audio des échanges avec les contrôleurs aériens,
- + Les journaux de bord, rapports de maintenance, bulletins météorologiques ;
- + Les antécédents médicaux et de formation des membres d'équipage ; - Les déclarations de témoins (visuels, auditifs, ou personnels au sol).

La conservation de ces données est tout aussi importante : chaque élément est étiqueté, daté, classé, et stocké dans des conditions permettant d'éviter toute dégradation. Cette phase peut durer plusieurs jours, voire semaines, et mobilise souvent plusieurs équipes spécialisées. Dans les accidents à forte médiatisation, un protocole de gestion de l'information est mis en place pour garantir la confidentialité des éléments sensibles.

L'efficacité de cette phase conditionne directement la capacité de l'enquête à produire une analyse factuelle et fiable, fondée sur des preuves documentées et traçables.

2.3.4. Analyse technique et causale : L'analyse constitue le cœur stratégique de toute enquête de sécurité. C'est à ce stade que les enquêteurs, à partir des données collectées, cherchent à identifier les causes immédiates, contributives et systémiques ayant mené à l'événement.

Contrairement à une approche judiciaire centrée sur la responsabilité, l'analyse technique privilégie une logique de compréhension globale et préventive, conformément à la philosophie de l'OACI.

L'analyse débute par une reconstitution chronologique des faits : en croisant les données des enregistreurs de vol (FDR/CVR), les communications radio, les informations météorologiques et les éléments issus de l'environnement opérationnel (aéroport, espace aérien, trafic), les enquêteurs établissent une ligne de temps précise, minute par minute.

Cette base factuelle permet ensuite d'identifier les ruptures dans le fonctionnement nominal : anomalies mécaniques, erreurs de pilotage, dysfonctionnements d'interface homme-machine, réactions inappropriées à une situation d'urgence, défauts de supervision ou de maintenance, etc.

Des outils d'analyse reconnus sont utilisés à cette fin :

- le modèle SHELL, pour analyser l'interaction entre les composantes humaines, logicielles, matérielles et environnementales ;
- le modèle de Reason (Swiss Cheese), pour identifier les failles organisationnelles et les barrières défaillantes ;
- la méthode de l'arbre des causes, pour visualiser la chaîne logique des événements.

Lorsque nécessaire, des simulations en laboratoire ou sur simulateur de vol sont menées afin de tester certaines hypothèses. L'analyse est souvent conduite de manière interdisciplinaire (ingénieurs, psychologues, médecins, contrôleurs...), ce qui en garantit la richesse et la fiabilité.

Cette phase ne se limite pas à expliquer « ce qui s'est passé », mais s'attache à comprendre « pourquoi » cela s'est produit, afin de formuler ensuite des recommandations ciblées et pertinentes.

2.3.5. Élaboration du rapport final – Un outil de communication, d'analyse et de prévention : L'élaboration du rapport final constitue l'aboutissement formel et intellectuel de l'enquête de sécurité. C'est à travers ce document que les faits établis, les analyses techniques, les facteurs contributifs et les enseignements tirés sont transmis aux acteurs de l'aviation civile, aux États concernés, et au public. Il répond à une structure codifiée par l'Annexe 13 de l'OACI (chapitre 6) et détaillée dans le Doc 9756 – Partie IV, et vise trois objectifs principaux : analyser, informer, et prévenir.

Le rapport débute par une page de titre et un résumé exécutif non technique, destiné à fournir une compréhension rapide des faits et conclusions, y compris aux non-spécialistes. Vient ensuite une section dédiée aux informations factuelles : description de l'aéronef, conditions météorologiques, données des enregistreurs de vol (CVR, FDR), déclarations de témoins, chronologie détaillée de l'événement.

La partie analytique est la plus dense : elle s'appuie sur des méthodes éprouvées (modèle SHELL, Swiss Cheese de Reason, arbre des causes) pour interpréter les données et identifier les défaillances techniques, erreurs humaines ou lacunes organisationnelles. Cette analyse est interdisciplinaire, fondée sur des preuves, et exclut toute désignation de faute.

Les conclusions distinguent les faits établis, les causes probables et les facteurs contributifs. Elles sont suivies des recommandations de sécurité, adressées à des entités précises (constructeurs, exploitants, autorités), numérotées et justifiées. Bien que non contraignantes légalement, ces recommandations ont un fort poids réglementaire et peuvent donner lieu à des modifications majeures des procédures, de la formation ou de la certification. Une version préliminaire du rapport est transmise aux États intéressés pour observations. Ceux-ci disposent généralement de 60 jours pour formuler leurs commentaires écrits. L'État d'enquête peut intégrer ou rejeter ces remarques, mais doit en faire état dans la publication finale.

Enfin, le rapport est rendu public — via les sites officiels des bureaux d'enquête ou les bases internationales (ECCAIRS, ADREP). Il peut inclure des annexes techniques (photos, cartes, extraits de FDR/CVR, témoignages), permettant aux professionnels de tirer un retour d'expérience détaillé.

En résumé, le rapport final ne se limite pas à expliquer l'accident : il constitue un levier de changement, un vecteur de transparence, et un outil collectif de prévention.

2.3.6 Diffusion, suivi et retour d'expérience : La dernière phase d'une enquête de sécurité aéronautique ne se limite pas à la publication du rapport final. Elle marque le début d'un processus plus large de diffusion des conclusions, de mise en œuvre des recommandations et d'intégration des leçons dans les systèmes de sécurité mondiaux. Cette phase est au cœur de la logique de retour d'expérience (REX), pilier fondamental de l'amélioration continue en aviation.

Une fois le rapport publié (conformément à l'article 6.6 de l'Annexe 13), il est diffusé auprès :

Des autorités nationales concernées (régulateurs, ministères, organismes de supervision) ;

Des acteurs industriels (constructeurs, exploitants, organismes de formation), et du public via les plateformes officielles (sites web des bureaux d'enquête, bases de données internationales comme ECCAIRS ou ADREP).

Les recommandations de sécurité doivent faire l'objet d'un suivi documenté. De nombreux États disposent d'un mécanisme de réponse formelle (ex. : rapport de mise en œuvre, plan d'action correctif), ce qui permet à l'organisme d'enquête de vérifier leur adoption ou leur rejet motivé. L'OACI, via son programme USOAP, évalue également ce suivi dans ses audits de supervision.

Parallèlement, les résultats de l'enquête sont intégrés :

Dans les programmes de formation (CRM, maintenance, gestion de crise) ;

Dans les révisions de procédures (checklists, manuels d'exploitation) ; -

Dans les SGS (Systèmes de Gestion de la Sécurité) des exploitants.

Enfin, les rapports alimentent le savoir collectif de l'aviation civile : ils sont analysés par les chercheurs, utilisés dans les études de risque, et inspirent les évolutions réglementaires à long terme. Cette dimension pédagogique et préventive est ce qui distingue fondamentalement l'enquête de sécurité aéronautique des autres formes d'investigation.

2.4: Outils d'analyse des causes :

L'analyse des causes d'un accident aérien repose sur des modèles systémiques incontournables, recommandés par l'OACI (Doc 9756), permettant de comprendre les interactions complexes entre les différentes composantes du système aérien.

2.4.1 Modèle de Reason (« Swiss Cheese ») :

Ce modèle illustre, visuellement, comment les accidents se produisent lorsqu'une série de défaillances alignées à plusieurs niveaux traverse les différentes couches de défense :

Organisationnelle : lacunes dans la supervision, culture de sécurité déficiente

Facteurs humains : fatigue, mauvaise formation, surcharge mentale - Actes non sécuritaires : erreurs de pilotage, violations des procédures - Conditions environnementales : météo, turbulence, etc.

Ce concept, représenté par des tranches de fromage avec des "trous", montre comment un « trajet d'accident » peut traverser toutes les protections. Le modèle est largement utilisé dans les enquêtes du BEA, du NTSB, de l'AAIB, et constitue la base du modèle HFACS.

Exemple réel – Vol Air France 447 (2009):

Le BEA a démontré que la combinaison de plusieurs défaillances – givrage des sondes Pitot (faute technique), désorientation des pilotes (facteur humain), et manque de formation au pilotage manuel (organisation) – a conduit à l'alignement des « trous », rendant l'accident inévitable.

Source : BEA, rapport AF447 (2012).

Pour illustrer comment des défaillances multiples peuvent s'aligner et franchir les barrières de sécurité successives, on fait souvent appel à une représentation visuelle synthétique inspirée du modèle de REASON :

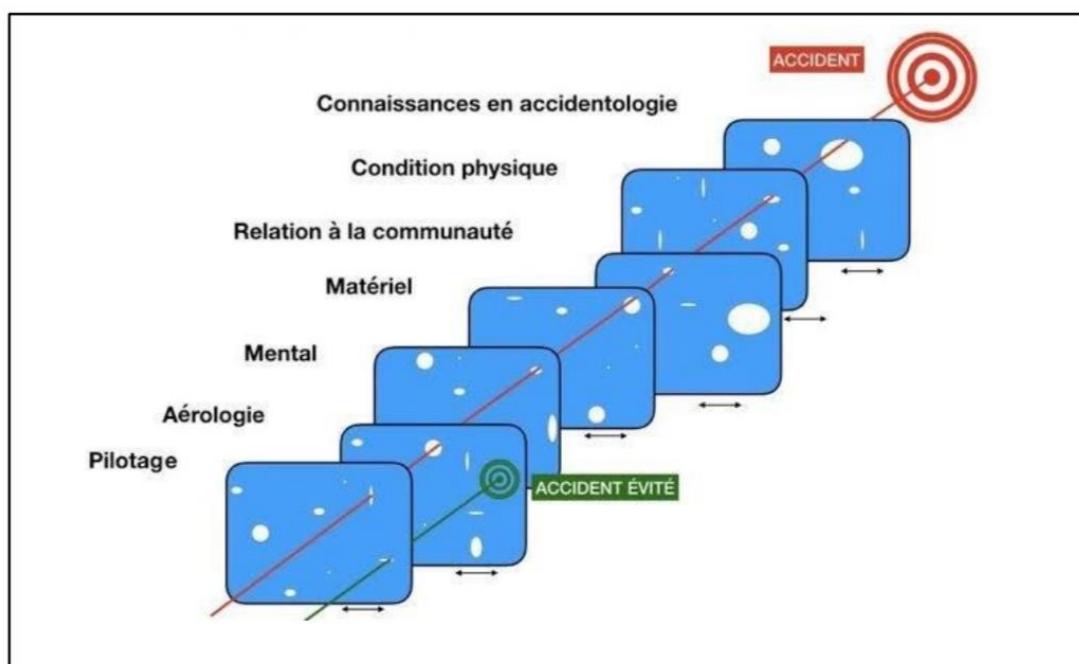


FIGURE 2.2 : Modèle de REASON illustrant les défaillances en cascade.

2.4.2 Modèle SHELL :

Ce modèle met l'accent sur les interfaces critiques autour de l'opérateur humain (Liveware) :

Software : procédures et checklists

Hardware : instruments de vol, commandes

Environment : facteurs externes (météo, espace aérien, bruit...)

Liveware : capacités humaines, fatigue, charge de travail

Liveware-Liveware : communication entre individus (CRM)

L'objectif est d'identifier les déséquilibres dans ces interfaces qui peuvent affaiblir la performance globale du système.

Exemple réel – Incident Bell 206B G-BXAR (2005):

L'AAIB a appliqué le modèle SHELL pour montrer que l'inadéquation des procédures (Software), la mauvaise lisibilité des instruments (Hardware), un environnement turbulent (Environment), et une surcharge cognitive de l'équipage (Liveware) ont contribué à la perte de contrôle.

Source : AAIB Bulletin 6/2006.

Ce modèle peut être résumé dans un schéma représentatif mettant en évidence les principales interfaces, tel qu'illustré par la figure suivante :

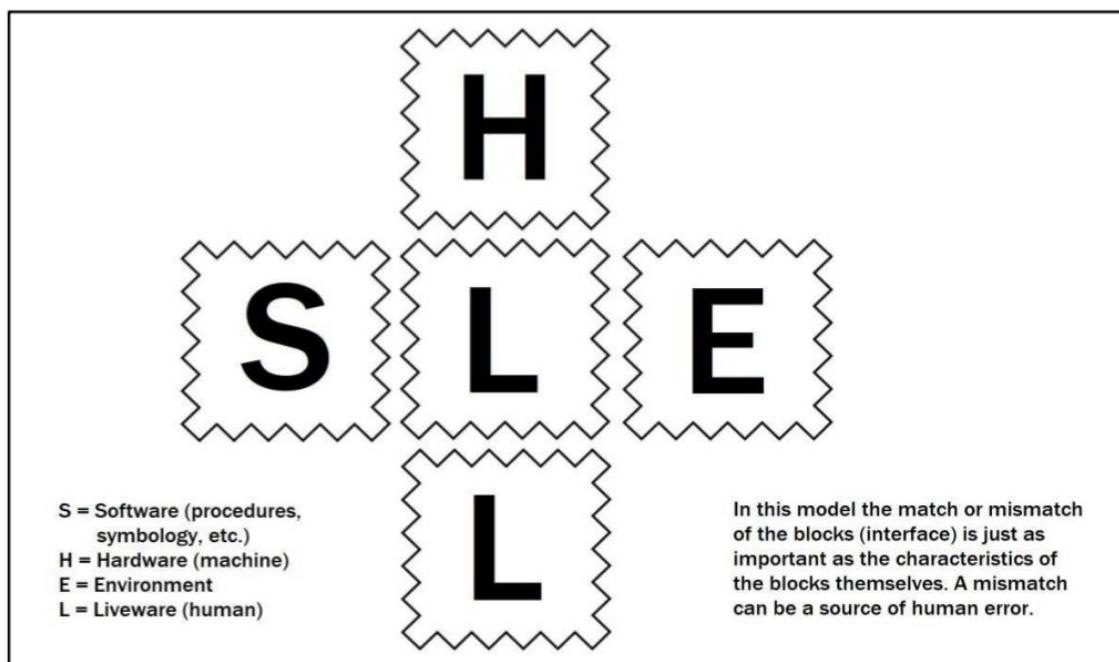


FIGURE 2.3 : Modèle SHELL des interactions dans l'environnement aéronautique.

2.4.3 Autres outils complémentaires :

Arbre des causes : représentation graphique en cascade des événements

Analyse fonctionnelle : identification des fonctions critiques rompues

Modélisation / Simulation : tests sur simulateur ou en laboratoire

HFACS : système de classification inspiré de Reason, utilisé par de nombreux bureaux d'enquête.

Le modèle HFACS (Human Factors Analysis and Classification System) se distingue par sa capacité à structurer les défaillances humaines selon un cadre hiérarchique clair. Développé à partir du modèle de Reason, il classe les erreurs et violations à différents niveaux organisationnels, depuis les conditions institutionnelles jusqu'aux

actes opératoires. Ce modèle est largement utilisé dans les milieux militaires et civils pour décortiquer les facteurs contributifs dans une approche systémique.

Le schéma suivant illustre l'architecture hiérarchique du modèle HFACS :

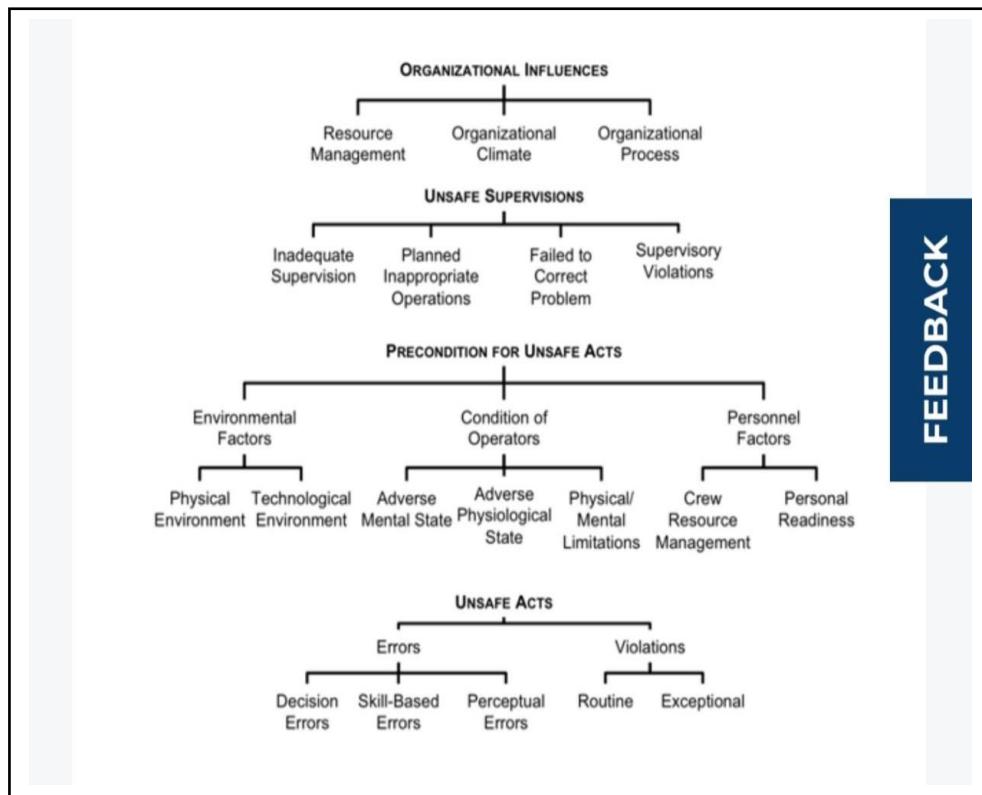


FIGURE 2. 4 : Modèle hiérarchique HFACS.

Ces outils permettent une lecture profonde, interdisciplinaire et non réductrice des événements aéronautiques, favorisant une compréhension globale et la formulation de recommandations pertinentes. Leur maîtrise constitue une compétence centrale pour les enquêteurs de sécurité aérienne modernes.

2.5 : Synthèse critique et perspectives d'amélioration :

L'examen approfondi des normes, des outils analytiques et des structures institutionnelles en matière d'enquête aéronautique met en évidence un haut degré de maturité du système international. Les textes fondateurs de l'OACI, notamment l'Annexe 13 et le Doc 9756, ont permis d'unifier les approches méthodologiques tout en favorisant l'adaptation nationale. Toutefois, l'efficacité d'une enquête ne dépend pas uniquement du cadre réglementaire, mais aussi de l'intégration des enseignements tirés de l'expérience et des statistiques opérationnelles.

Les données publiées par les principales institutions (OACI, IATA, Boeing) pour les années 2023–2024 permettent de dresser un état des lieux global des performances en matière de sécurité aérienne. Le graphique suivant illustre les taux

moyens d'accidents pour un million de vols commerciaux, sur la base des données les plus récentes :

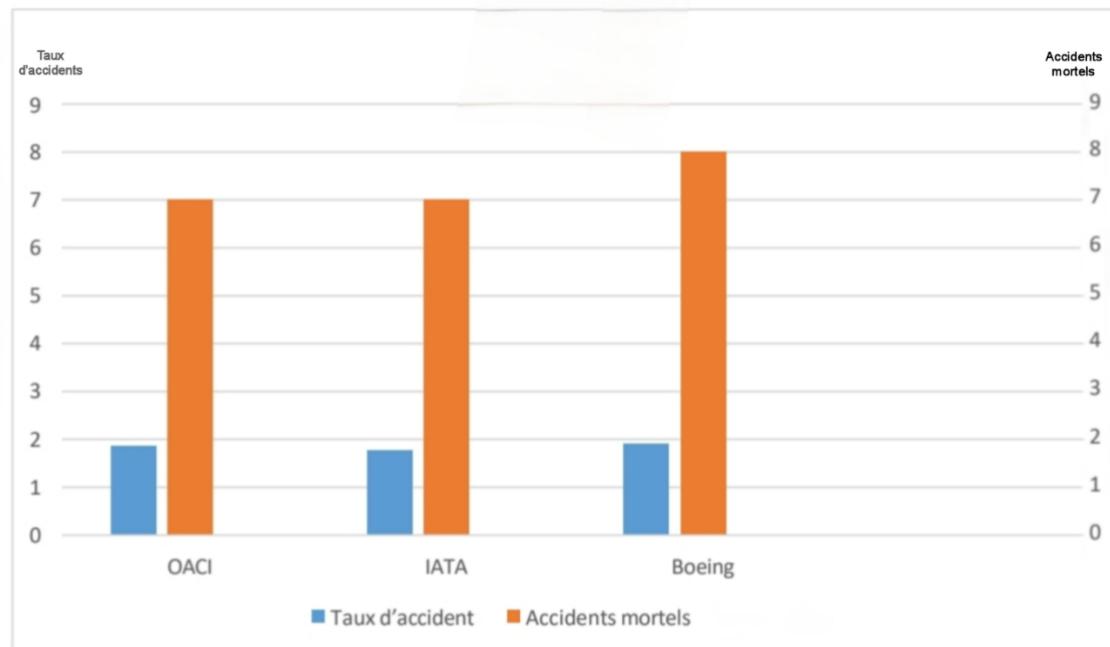


FIGURE 2.5 : Comparaison des taux d'accidents et du nombre d'accidents mortels selon les sources officielles (2023-2024).

Au-delà de ces taux relativement faibles au regard du volume mondial de trafic (~36 millions de vols commerciaux en 2024 selon l'IATA), les chiffres confirment la prédominance persistante des erreurs humaines. Selon Boeing, environ 68 % des accidents mortels au cours de la dernière décennie sont directement ou indirectement liés à des défaillances humaines : erreurs de pilotage, mauvaise communication, prise de décision erronée ou non-respect des procédures.

Ces données soulignent l'importance d'investir davantage dans les dimensions humaines de la sécurité aérienne, en misant sur la formation, la culture de sécurité, et l'exploitation systémique des retours d'expérience. Elles confirment aussi la pertinence de recourir à des outils d'analyse avancés tels que les modèles SHELL, HFACS ou Reason, intégrés dans une vision interdisciplinaire.

Dans ce contexte, les perspectives d'amélioration doivent s'orienter vers :

- la systématisation des formations initiales et continues des enquêteurs,
- l'adoption d'outils numériques (simulateurs, plateformes de gestion d'enquête),
- le renforcement des échanges entre organismes internationaux et nationaux,
- la formalisation d'un cadre réglementaire pour les simulations académiques.

Ainsi, l'intégration proactive de ces approches constitue non seulement un levier d'efficacité pour les enquêtes futures, mais également une opportunité stratégique pour les États à renforcer leur conformité avec les standards de l'OACI.

Ce chapitre a permis d'établir un cadre de référence complet pour comprendre les fondements réglementaires, institutionnels et méthodologiques qui régissent les enquêtes de sécurité dans l'aviation civile. À travers l'analyse de l'Annexe 13 de l'OACI et du Doc 9756, nous avons mis en évidence les exigences structurantes qui guident l'organisation et la conduite d'une enquête conforme aux standards internationaux. L'étude des organismes internationaux comme le BEA, le NTSB, ou l'AAIB a montré la diversité des pratiques tout en soulignant leur alignement progressif sur une approche systémique, préventive et interdisciplinaire.

L'examen détaillé des phases d'une enquête type, ainsi que des outils d'analyse des causes, a démontré la complexité croissante du processus d'investigation, et l'importance d'une méthodologie rigoureuse, adaptée aux réalités opérationnelles et humaines du secteur aéronautique..

Ce socle théorique et réglementaire constitue désormais une base solide pour aborder, dans le chapitre suivant, l'application concrète de ces principes à travers une étude de cas simulée, conçue comme un exercice pédagogique, mais ancrée dans la réalité des procédures d'enquête contemporaines.

CHAPITRE 3

ÉTUDE DE CAS SIMULÉE:

MÉTHODOLOGIE D'UNE

ENQUETE DE SÉCURITÉ

APPLIQUÉE À UN INCIDENT

D'ATERRISSAGE



CHAPITRE 3 : ÉTUDE DE CAS SIMULEE : MÉTHODOLOGIE D'UNE ENQUÊTE DE SÉCURITÉ APPLIQUÉE À UN INCIDENT D'ATTERISSAGE :

Ce chapitre constitue une transition essentielle entre les fondements théoriques et réglementaires abordés précédemment et leur mise en œuvre dans un cadre appliqué. Il présente une étude de cas simulée visant à reconstituer le déroulement d'un incident aéronautique plausible, selon une logique conforme aux recommandations méthodologiques de l'OACI. Cette simulation a été conçue comme un exercice d'entraînement professionnel contrôlé, reproduisant de manière réaliste les conditions d'un vol perturbé par une anomalie technique significative. L'objectif est de mettre en pratique les outils et procédures d'enquête étudiés dans les chapitres précédents, à travers une reconstitution structurée comprenant : la description de l'événement, la constitution d'une équipe d'enquête, la collecte et l'analyse des données, la formulation de causes probables, et enfin l'élaboration d'un rapport synthétique accompagné de recommandations. Cette approche permettra d'illustrer la cohérence entre théorie et pratique, tout en soulignant les enjeux de rigueur, d'objectivité et de prévention inhérents à toute démarche d'investigation en sécurité aérienne.

3.1 – Présentation du contexte général de la simulation :

L'étude de cas présentée dans ce chapitre repose sur un scénario fictif élaboré dans un cadre d'entraînement professionnel structuré. Elle vise à simuler un incident aéronautique techniquement plausible, dans un environnement maîtrisé, afin de permettre l'application rigoureuse des principes méthodologiques d'une enquête de sécurité.

Le contexte retenu met en scène un vol de familiarisation à bord d'un aéronef léger monomoteur, opéré par un équipage restreint composé d'un pilote expérimenté, d'un élève en phase avancée de formation, et d'un technicien observateur. Le vol s'effectue dans des conditions météorologiques stables, sans trafic commercial, et dans un espace aérien autorisé.

L'objectif de cette simulation est de générer une situation d'urgence réaliste – en l'occurrence une défaillance du train avant lors de la phase d'atterrissage – ne mettant pas en jeu de vies humaines, mais nécessitant une réaction opérationnelle et analytique complète. Ce type de scénario est particulièrement adapté à l'apprentissage des mécanismes d'enquête, puisqu'il mobilise à la fois la gestion d'un événement technique, l'organisation d'une réponse structurée, et la formulation de recommandations à visée préventive.

Ce cadre permet d'illustrer concrètement l'application des standards de l'OACI, notamment ceux énoncés dans l'Annexe 13 et le Doc 9756, tout en mettant en évidence

l'importance de la coordination, de la documentation des faits, et de l'analyse systémique dans toute démarche d'investigation aéronautique.

3.2 – Déroulement de l'événement simulé :

L'événement simulé se déroule dans un environnement contrôlé, au cours d'un vol d'entraînement professionnel réalisé à bord d'un aéronef léger monomoteur. La mission débute par une phase de préparation au sol comprenant l'inspection extérieure, la vérification des commandes, la consultation des conditions météorologiques, et la revue des procédures standards. Ces étapes s'effectuent conformément aux bonnes pratiques opérationnelles, dans un souci de conformité avec la réglementation en vigueur.

Le décollage s'effectue normalement, l'appareil atteint l'altitude de croisière prévue, et les premières manœuvres s'effectuent sans anomalie. C'est lors de la phase de descente, à l'approche de l'aérodrome de retour, que l'équipage constate un comportement anormal du système de train d'atterrissement. Les voyants de configuration indiquent un déploiement incomplet du train avant, suggérant une défaillance mécanique ou hydraulique. Une vérification croisée est entreprise à l'aide des checklists d'urgence disponibles à bord, mais les actions correctives proposées n'aboutissent pas à la résolution du problème.

L'équipage signale alors la situation au contrôle aérien local, sans déclarer de détresse immédiate, mais en se plaçant en priorité opérationnelle (message PAN PAN). Une attente en orbite est décidée afin d'évaluer les options disponibles, d'épuiser les procédures alternatives, et de préparer un atterrissage non conventionnel. Après concertation et évaluation des risques, la décision est prise d'effectuer un atterrissage contrôlé en s'appuyant uniquement sur le train principal.

L'approche est stabilisée à une vitesse réduite, avec un arrondi prolongé visant à retarder le contact de la partie avant de l'appareil avec la piste. Une fois les roues principales posées, le nez s'abaisse lentement sous l'effet de la perte de portance, entraînant un frottement sur la surface de la piste. L'aéronef s'immobilise sans blessure parmi les occupants. Des dommages sont observés au niveau de la structure avant, principalement localisés au niveau du revêtement inférieur et de la cloison pare-feu.

L'environnement est rapidement sécurisé, l'incident est consigné, et une décision est prise de déclencher une procédure d'enquête interne simulée, afin d'analyser les causes, d'évaluer la gestion de l'événement, et de formuler les enseignements utiles pour la prévention de situations similaires.

Pour mieux visualiser le déroulement de l'événement simulé, la frise suivante présente une chronologie simplifiée des étapes clés, depuis la phase pré-vol jusqu'à la clôture de l'enquête :

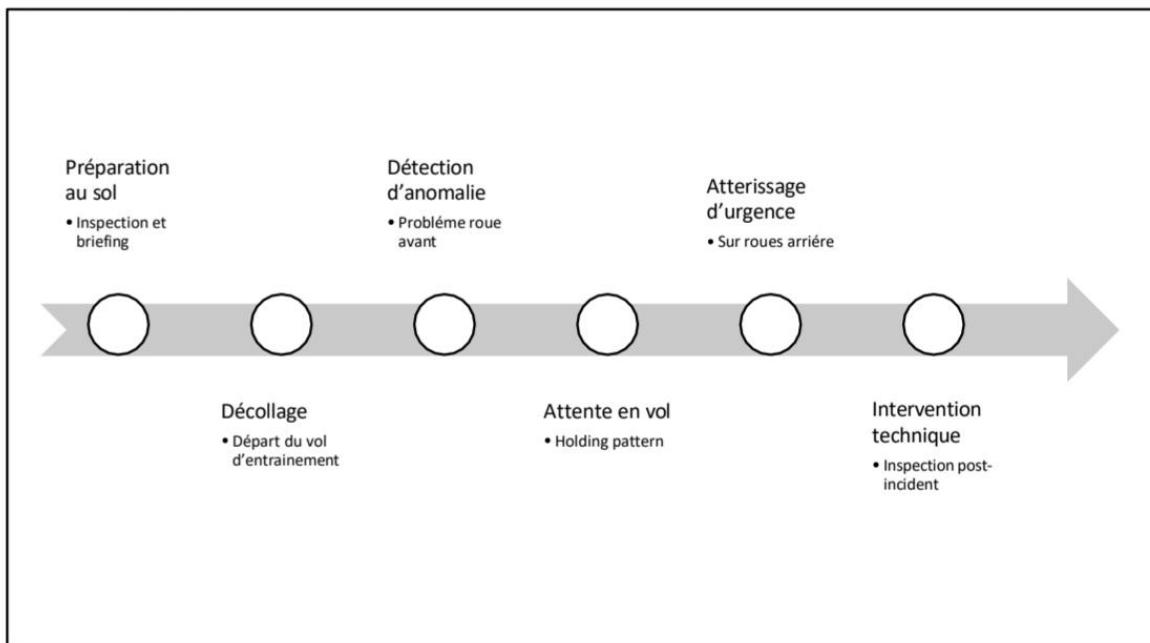


Figure 3.1 – Chronologie des événements de l'incident simulé

3.3 – Constitution de l'équipe d'enquête et cadre de référence :

Suite à l'incident simulé, une procédure d'enquête a été déclenchée dans un cadre structuré, inspiré des principes de l'Annexe 13 de l'OACI. L'objectif est de reconstituer les étapes réelles d'une investigation technique, tout en respectant les exigences méthodologiques applicables en matière de neutralité, d'objectivité et de rigueur procédurale.

Conformément aux bonnes pratiques internationales, l'enquête est confiée à une équipe multidisciplinaire fictive, constituée dès la phase initiale. Elle comprend les fonctions suivantes :

Un enquêteur principal, chargé de coordonner l'ensemble du processus, d'assurer la liaison avec les autres intervenants et de superviser la production du rapport final ;

Un expert technique spécialisé dans les systèmes mécaniques, en particulier les trains d'atterrissage, chargé de l'examen de la défaillance matérielle ; Un analyste facteur humain, responsable de l'évaluation des comportements de l'équipage, de la gestion de la charge mentale, et de l'application des procédures ;

Un agent chargé de la collecte documentaire, en charge de centraliser les checklists, journaux de bord, relevés météo et communications radio.

Cette structure est conçue de manière à refléter les rôles typiquement rencontrés dans les bureaux d'enquête nationaux comme le BEA (France) ou le NTSB (États-Unis), bien que l'exercice ici demeure purement simulé. Chaque membre agit dans le respect des principes définis dans le Doc 9756 – Manuel d'enquête sur les accidents et incidents d'aviation, notamment en ce qui concerne la gestion de la preuve, l'indépendance d'analyse, et la traçabilité des données.

Le champ d'investigation de l'équipe couvre aussi bien les aspects techniques que comportementaux et organisationnels, dans une approche systémique. Aucun membre de l'équipage impliqué dans l'événement ne fait partie du groupe d'enquête, conformément au principe d'impartialité.

Cette organisation pose les fondations du processus d'analyse, qui débutera par une phase rigoureuse de collecte de données afin de nourrir l'interprétation des faits et la formulation ultérieure des causes probables.

La figure ci-après illustre le dysfonctionnement constaté lors de l'approche finale, caractérisé par la non-sortie complète du train avant :



Figure 3.2 – Représentation du problème technique affectant le train avant.

3.4 – Collecte des données :

La phase de collecte des données constitue l'étape fondatrice de toute enquête de sécurité, conformément aux prescriptions de l'Annexe 13 et du Doc 9756. Elle vise à rassembler l'ensemble des informations factuelles permettant de reconstituer objectivement le déroulement de l'événement, sans interprétation prématurée.

Dans le cadre de cette simulation, plusieurs catégories de données ont été identifiées et exploitées :

- Les données opérationnelles : extraits du journal de bord, checklists utilisées lors du vol, séquences de communication entre l'équipage et le contrôle aérien, ainsi que les paramètres techniques connus (altitude, vitesse, cap, durée du vol).

Ces éléments permettent de situer précisément l'incident dans le temps et l'espace.

- Les témoignages : débriefings structurés des trois membres à bord (pilote, élève, technicien), réalisés selon un protocole semi-directif. Ces comptes rendus permettent d'identifier les perceptions, les décisions prises en temps réel, et les éventuelles divergences de compréhension de la situation.
- L'environnement technique : état de l'aéronef après l'atterrissement, nature des dommages visibles, position de la commande de train, état du circuit hydraulique simulé. L'analyse de ces éléments vise à vérifier la cohérence entre les symptômes constatés et les hypothèses de défaillance technique.
- Les conditions extérieures : bulletin météo au moment du vol (METAR et TAF), rapport de l'état de la piste, conditions de luminosité, absence de trafic perturbateur. Ces données permettent d'écartier ou de prendre en compte l'influence de facteurs environnementaux.

Tous ces éléments sont archivés de manière ordonnée dans un dossier d'enquête fictif, auquel sont également associés des croquis simplifiés, des photographies prises après l'immobilisation de l'appareil, et des représentations schématiques du circuit de train d'atterrissement. L'ensemble de ces données constitue la base sur laquelle reposera l'analyse des causes dans la phase suivante.

3.5 – Analyse des causes probables :

L'analyse des causes constitue le cœur de toute enquête de sécurité, dont l'objectif n'est pas d'attribuer une responsabilité mais de comprendre comment une situation non désirée a pu émerger. Dans cette étude de cas simulée, l'analyse a été menée selon une approche systémique recommandée par l'OACI, en s'appuyant principalement sur deux modèles reconnus : le modèle de Reason (modèle du « fromage suisse ») et le modèle SHELL.

3.5.1 Application du modèle de Reason :

Ce modèle permet de visualiser comment plusieurs barrières de sécurité, censées empêcher l'occurrence d'un accident, peuvent être simultanément franchies en présence de défaillances latentes et d'actes actifs. Dans notre cas, plusieurs éléments sont apparus comme des « trous » dans les défenses du système :

Défaillance technique latente : un défaut simulé dans le système de commande du train avant, non détecté lors des vérifications pré-vol, suggérant une insuffisance dans le contrôle technique préalable.

Erreur humaine active : une hésitation dans l'application de la checklist d'urgence, liée à une mauvaise lecture initiale des voyants.

Déficience organisationnelle : l'absence de procédure de vérification visuelle externe du train lors de la descente (ex. : recours à une tour d'observation ou à un drone), qui aurait permis de confirmer visuellement l'état du train avant.

L'alignement de ces facteurs a mené à une situation non contrôlée, nécessitant un atterrissage non standard.

3.5.2 Application du modèle SHELL :

Ce modèle permet de mettre en évidence les interfaces entre le facteur humain (Liveware) et les autres composants du système :

L-S (Liveware–Software) : bien que les procédures d'urgence aient été disponibles, leur interprétation a généré une confusion momentanée.

L-H (Liveware–Hardware) : la configuration des voyants de train était peu intuitive, et n'indiquait pas clairement la position exacte du train avant.

L-E (Liveware–Environment) : les conditions météorologiques favorables ont joué un rôle atténuant, mais la pression temporelle induite par le carburant restant a accru le stress décisionnel.

L-L (Liveware–Liveware) : la communication au sein de l'équipage a été correcte, mais l'instructeur a pris en charge l'ensemble des tâches critiques, réduisant l'efficacité du CRM (Crew Resource Management).

L'analyse croisée de ces deux modèles a permis de dégager une hypothèse principale : une combinaison de défaillance technique et de fragilités humaines et organisationnelles, dans un contexte contrôlé mais révélateur de la complexité d'une gestion d'anomalie réelle.

Cette lecture globale est cohérente avec les principes méthodologiques du Doc 9756 – Manuel d'enquête, qui insiste sur l'importance d'une approche multidimensionnelle, dépassant la simple identification de l'erreur humaine.

3.6 – Rapport d'enquête simulé : synthèse structurée :

Conformément à la structure recommandée par l'OACI dans l'Annexe 13 et détaillée dans le Doc 9756, un rapport d'enquête a été élaboré à l'issue de l'analyse des faits recueillis. Bien qu'il s'agisse d'une situation simulée, le rapport respecte la logique et les sections d'un document officiel, dans un objectif d'apprentissage structuré.

3.6.1. Résumé de l'événement :

Le 12 mai 2025, un vol de familiarisation opéré à bord d'un aéronef léger monomoteur a rencontré une anomalie de train avant lors de la phase de retour.

L'atterrissement s'est effectué en appui sur les roues principales, le nez de l'appareil s'étant abaissé après la perte de portance. L'équipage est sorti indemne, des dommages mineurs ont été constatés à l'avant de l'aéronef.

3.6.2. Objectif de l'enquête :

Déterminer les causes probables de l'anomalie observée, analyser la gestion de l'événement, et proposer des recommandations à visée préventive dans le cadre d'un entraînement contrôlé.

3.6.3. Informations factuelles :

Aéronef : Monomoteur léger, immatriculé fictivement.

Équipage : pilote, élève, technicien (aucun blessé).

Conditions météo : favorables, vent faible, visibilité excellente. Anomalie détectée : voyant du train avant éteint – non-confirmation du verrouillage.

3.6.4 Analyse technique et humaine :

L'événement résulte d'une défaillance simulée de la commande de verrouillage du train avant. L'équipage a correctement appliqué les procédures d'urgence, bien que certaines hésitations aient été relevées dans la lecture initiale des indications. La communication avec la tour et entre les membres est restée cohérente tout au long de la séquence.

3.6.5. Conclusions :

L'événement est attribuable à une combinaison de facteurs :

Un défaut technique latent non détecté en amont ;

Une interaction ambiguë avec l'interface de contrôle ;

Une surcharge momentanée de la charge cognitive dans la phase d'approche.

3.6.6. Recommandations :

Améliorer la clarté des interfaces visuelles de contrôle du train ;

Renforcer la formation à la gestion des anomalies en vol ;

Simuler périodiquement des cas de non-sortie de train dans les entraînements pratiques.

3.7 – Recommandations issues de la simulation :

L'objectif final de toute enquête de sécurité, même lorsqu'elle est simulée dans un cadre contrôlé, est d'identifier des actions correctrices permettant de prévenir la récurrence d'événements similaires. À l'issue de cette étude de cas, plusieurs recommandations ont été formulées, en cohérence avec les principes de prévention défendus par l'OACI.

- Amélioration des interfaces de contrôle du train d'atterrissement :

Les voyants de position du train avant se sont révélés peu explicites dans le scénario simulé. Il est recommandé que les concepteurs ou opérateurs d'aéronefs légers adoptent des systèmes d'indication plus clairs, reposant sur des codes visuels normalisés (ex. : couleurs, pictogrammes, alarme sonore), afin de limiter les erreurs d'interprétation en phase critique.

- Renforcement des entraînements à la gestion des anomalies :

Les réactions de l'équipage ont été globalement satisfaisantes, mais l'analyse a révélé un manque de fluidité dans la mise en œuvre des checklists d'urgence. Il est donc conseillé d'intégrer, dans les programmes de formation avancée, des séquences de simulation orientées sur les défaillances mécaniques imprévues, avec une attention particulière portée au facteur humain et au partage de la charge mentale.

- Intégration d'observateurs extérieurs dans les procédures de vérification :

La simulation a mis en lumière l'absence de confirmation visuelle externe du train avant. Il serait pertinent, lorsque les conditions le permettent, de faire appel à un observateur tiers (tour de contrôle, personnel au sol, drone de vérification) pour confirmer ou infirmer visuellement une anomalie signalée depuis le cockpit.

- Sensibilisation au CRM dans les vols de formation :

Même dans un vol à équipage réduit, la gestion des ressources humaines reste un levier crucial de performance. Il est recommandé de renforcer l'enseignement du Crew Resource Management (CRM) dès les phases initiales de la formation, notamment dans le cadre des vols d'instruction, afin de mieux répartir les responsabilités et fluidifier la communication en situation de stress.

- Archivage structuré des événements simulés à des fins pédagogiques :

Afin de capitaliser sur les expériences acquises en simulation, il est recommandé de constituer une base de données interne recensant les incidents simulés, leurs analyses et les mesures proposées. Cette base servirait de support de référence pour les futures sessions de formation, selon une logique d'amélioration continue. Ces

recommandations, bien que formulées à partir d'un événement fictif, illustrent la capacité d'une démarche structurée à générer des enseignements concrets, transposables dans des contextes réels. Elles soulignent aussi l'intérêt pédagogique et opérationnel des études de cas simulées dans la culture de sécurité aérienne.

L'étude de cas simulée présentée dans ce chapitre a permis d'illustrer, de manière concrète et structurée, la mise en œuvre d'une enquête de sécurité aéronautique selon les normes de l'OACI. À travers le déroulement fictif d'un incident technique, l'exercice a mobilisé des compétences analytiques, organisationnelles et humaines, tout en respectant les exigences de neutralité, de rigueur et de traçabilité propres à ce type de démarche.

Cette simulation a mis en lumière l'importance d'une coordination efficace entre les différents intervenants, la valeur ajoutée des modèles d'analyse systémiques, ainsi que la nécessité de disposer de procédures claires et reproductibles face à des situations d'urgence. Le rapport final élaboré, bien que fictif, respecte la structure et l'esprit des documents officiels utilisés dans le monde professionnel.

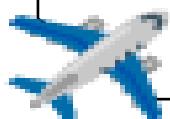
Au-delà de l'aspect académique, cet exercice a démontré l'utilité des études de cas simulées comme outils pédagogiques puissants, contribuant au développement d'une culture de sécurité proactive. Il constitue ainsi un socle pertinent pour une réflexion élargie, que nous poursuivrons dans le chapitre suivant à travers une analyse critique et des recommandations d'amélioration.

CHAPITRE 4 :

ANALYSE RÉFLEXIVE DE LA SIMULATION,

ENSEIGNEMENTS PROFESSIONNELS ET

PERSPECTIVES D'AMÉLIORATION.



Chapitre 4 : Analyse réflexive de la simulation, enseignements professionnels et perspectives d'amélioration.

La conduite d'une enquête simulée, telle que présentée dans le chapitre précédent, ne se limite pas à une reproduction structurée d'un cadre réglementaire. Elle représente une démarche complète d'apprentissage par l'action, visant à développer des compétences techniques, méthodologiques et décisionnelles propres aux environnements aéronautiques sensibles.

Ce chapitre adopte une posture réflexive : il propose une évaluation critique de l'expérience menée, en mettant en évidence ses apports sur le plan professionnel, ses limites pratiques, ainsi que les améliorations envisageables pour renforcer la valeur de telles simulations dans les programmes de formation appliquée.

L'analyse portera ainsi sur la pertinence du scénario utilisé, l'efficacité des outils mobilisés, la validité des résultats obtenus, ainsi que la capacité du dispositif à préparer les intervenants aux réalités d'une enquête réelle. Elle sera prolongée par une série de recommandations concrètes et par l'exploration de perspectives de développement pour des approches futures plus immersives et interprofessionnelles.

4.1 – Retour critique sur la simulation :

L'enquête simulée menée dans le cadre de cette étude a offert une opportunité concrète d'appliquer les principes réglementaires et méthodologiques propres aux investigations en sécurité aéronautique. Ce type d'exercice repose sur une logique d'expérimentation structurée, qui vise à confronter les apprenants aux exigences réelles d'un processus d'analyse des événements, dans un cadre contrôlé. D'un point de vue opérationnel, la simulation s'est révélée pertinente. Elle a permis de couvrir toutes les phases clés d'une enquête type, conformément aux recommandations de l'OACI (Annexe 13 et Doc 9756) : déclenchement de la procédure, constitution de l'équipe, collecte des données, analyse systémique, formulation du rapport final et élaboration de recommandations. Cette progression structurée a contribué à renforcer la maîtrise des différentes étapes du cycle d'enquête.

Toutefois, l'exercice a mis en lumière certaines limites qu'il convient de souligner. L'absence de pression réelle, de risques humains ou juridiques, réduit l'intensité émotionnelle de la prise de décision et atténue la complexité des interactions humaines dans un contexte de crise. De même, les données utilisées, bien que cohérentes, restent artificielles et simplifiées : aucun enregistreur de vol, aucune maintenance réelle, aucune trace radar, ni communication audio n'a pu être intégrée.

Enfin, les dimensions institutionnelles – telles que la relation avec l'autorité de l'aviation civile, les obligations de notification internationale ou la coordination inter-agences – n'ont pas été abordées, limitant la portée du scénario à un cadre local

simplifié. Cette restriction, bien qu'utile à des fins de faisabilité, ne reflète pas la complexité des enquêtes réelles menées à l'échelle d'un État.

En somme, la simulation a permis une immersion méthodologique solide, tout en révélant des axes d'amélioration essentiels pour tendre vers un dispositif plus réaliste, plus immersif et davantage orienté vers les contraintes du terrain.

4.2 – Enseignements professionnels tirés de la démarche :

L'approche mise en œuvre dans cette enquête simulée a permis de dégager plusieurs enseignements significatifs, au-delà de l'aspect technique ou académique. En reconstituant une situation critique dans un environnement structuré, l'exercice a favorisé le développement de compétences essentielles à la conduite d'enquêtes aéronautiques réelles.

Tout d'abord, la démarche a permis de renforcer la compréhension des responsabilités incombant aux différents membres d'une équipe d'enquête. La répartition des rôles, l'importance du leadership méthodologique, et la coordination interdisciplinaire sont apparues comme des éléments cruciaux. La simulation a ainsi illustré concrètement la nécessité d'une organisation claire et hiérarchisée, conforme aux standards de l'OACI, afin d'éviter toute dilution de la responsabilité ou rupture de communication.

Ensuite, le traitement rigoureux des données disponibles, même fictives, a permis d'exercer une capacité d'analyse critique fondée sur des faits, en évitant les biais interprétatifs. L'utilisation d'outils comme les modèles de Reason et SHELL a renforcé la capacité à structurer les hypothèses, à identifier les facteurs contributifs, et à formuler des conclusions non réductrices. Ce processus a favorisé l'adoption d'une logique systémique, élément fondamental dans toute démarche de prévention moderne.

Par ailleurs, la rédaction du rapport final simulé a constitué un véritable entraînement à la synthèse structurée de l'information, à l'écriture technique et à l'argumentation factuelle. Cette étape a mis en évidence l'exigence de précision, de neutralité et de traçabilité dans la formulation des constats et recommandations.

Enfin, l'exercice a renforcé la conscience des exigences réglementaires, notamment en matière de transparence, d'indépendance de l'enquête, de communication avec les parties concernées, et de diffusion des enseignements. Ces dimensions, bien que simulées, ont éveillé une sensibilité accrue aux contraintes professionnelles et juridiques que rencontre tout enquêteur dans un contexte réel.

Ainsi, cette expérience a constitué un levier efficace pour le développement d'aptitudes transférables dans le domaine de la sécurité aérienne, tout en créant un pont tangible entre la théorie réglementaire et la pratique opérationnelle.

L'analyse suivante propose une matrice SWOT mettant en évidence les forces, faiblesses, opportunités et menaces liées à la simulation d'enquête réalisée :

<u>Forces :</u>	<u>Faiblesses :</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Approche basée sur les normes OACI. - Cas simulé conforme aux étapes d'une enquête. - Logique rigoureuse et méthodique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Absence de données réelles (CVR, FDR). - Manque d'interactions institutionnelles. - Pas de pression contextuelle réelle.
<u>Opportunités :</u>	<u>Menaces :</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Intégration dans les formations aéronautiques. - Partenariats avec autorités d'enquête. - Développement de simulateurs d'enquête. 	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de banalisation académique. - Écart entre simulation et réalité. - Manque de reconnaissance officielle.

Figure 4.1 – Analyse SWOT de la démarche méthodologique simulée

4.3 – Limites de l'exercice simulé :

Aussi structurée et enrichissante soit-elle, une enquête simulée comporte inévitablement des limites qu'il est nécessaire de reconnaître afin d'éviter toute surestimation de sa portée. Ces limites ne remettent pas en cause la valeur de l'exercice, mais elles invitent à en relativiser l'applicabilité face à la complexité des situations réelles.

La première limite majeure tient à l'absence de pression psychologique authentique. Contrairement à une enquête réelle, où des vies peuvent être en jeu et où l'environnement émotionnel est souvent chargé de tension, la simulation se déroule dans un cadre neutre, sans enjeu humain direct. Cette absence de stress réel altère la perception du temps, la prise de décision, et le niveau d'implication émotionnelle des participants.

Deuxièmement, les données utilisées, bien qu'inspirées de procédures réelles, restent fictives et simplifiées. Aucun accès n'a été possible à des enregistreurs de vol, à des relevés de maintenance certifiés, à des témoignages spontanés, ni à des preuves matérielles tangibles. Cette situation réduit considérablement la richesse des analyses possibles, en limitant l'exercice à un raisonnement basé sur des données génériques et limitées.

Par ailleurs, la simulation ne permet pas de reproduire certaines interactions clés, notamment avec les parties prenantes externes : autorités de régulation, exploitants, constructeurs, services de sauvetage, ou représentants légaux.

L'absence de ce maillage institutionnel empêche l'émergence des problématiques juridiques, communicationnelles ou diplomatiques qui caractérisent souvent les enquêtes de grande envergure.

Enfin, l'exercice a été mené dans un cadre académique, sans validation par une autorité nationale d'enquête. Il ne permet donc pas de confronter les conclusions à un processus d'audit ou d'examen externe, ce qui constitue un manque en matière de retour critique professionnel.

En résumé, bien que précieuse pour la compréhension méthodologique du processus d'enquête, la simulation reste une abstraction partielle de la réalité. Elle gagnerait à être renforcée par des dispositifs plus immersifs, des collaborations interinstitutionnelles et, si possible, l'accès à des données issues d'incidents réels déclassifiés à des fins de formation.

Les principales recommandations issues de cette étude sont résumées dans la carte heuristique suivante, structurée selon trois axes prioritaires :

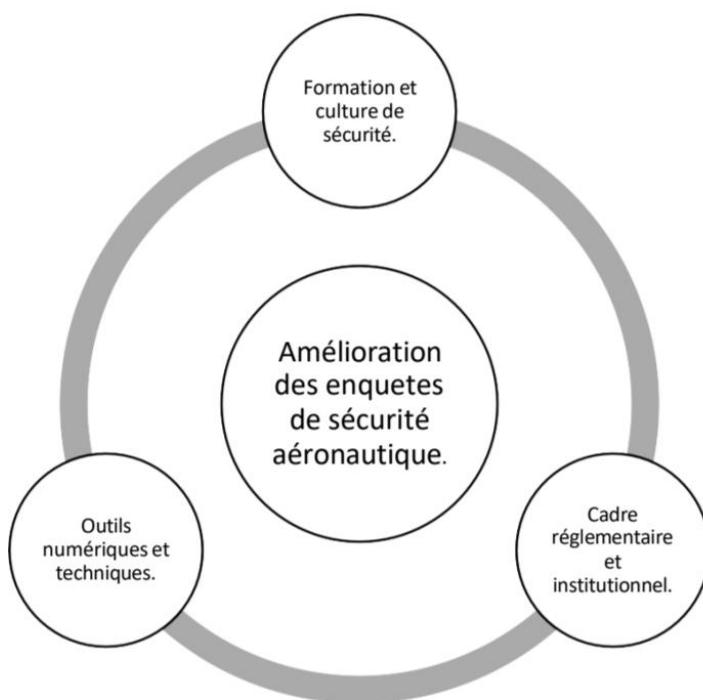


Figure 4.2 – Synthèse visuelle des recommandations opérationnelles.

Formation & Culture de sécurité:

Intégrer les simulations dans les cursus.

Former aux modèles HFACS, SHELL, Reason.

Renforcer la sensibilisation aux facteurs humains.

Cadre réglementaire & institutionnel:

Créer un référentiel national pour les exercices.

Collaborer avec les autorités d'enquête (ex: BEA, DACM).

Aligner les pratiques avec l'OACI (Annexe 13, Doc 9756).

Outils numériques & techniques:

Développer des simulateurs interactifs d'enquête.

Construire une base de données de retours d'expérience.

Intégrer des plateformes d'analyse numérique.

4.4 – Recommandations générales pour le développement de la formation et de la culture de sécurité aérienne :

L'expérience de simulation analysée dans ce mémoire met en évidence plusieurs pistes d'amélioration qui, si elles étaient intégrées dans les programmes de formation spécialisés, pourraient significativement renforcer la qualité des apprentissages et la diffusion d'une culture de sécurité conforme aux standards internationaux.

Premièrement, il apparaît essentiel d'institutionnaliser l'usage des études de cas simulées dans les cursus de navigation aérienne, de gestion de la sécurité ou de formation technique. Ces simulations devraient être conçues sur la base de scénarios réalistes, construits à partir de cas réels anonymisés, et encadrées par des professionnels expérimentés. Leur intégration régulière permettrait de confronter les apprenants à des situations dynamiques, complexes, et ancrées dans les réalités du terrain.

Deuxièmement, le recours aux outils d'analyse systémique devrait être renforcé dès les premiers modules de formation. L'introduction progressive de modèles tels que Reason, SHELL ou HFACS (Human Factors Analysis and

Classification System) permettrait de structurer la pensée critique des étudiants et de les familiariser avec les logiques d'investigation modernes.

Troisièmement, une collaboration plus étroite avec les organismes nationaux d'enquête (ex. : BEA, AIB en Algérie) devrait être envisagée. Cela pourrait passer par des stages d'observation, des séminaires conjoints ou l'accès contrôlé à des bases de données d'incidents techniques à des fins pédagogiques. Une telle ouverture renforcerait la dimension opérationnelle des formations.

Quatrièmement, il serait pertinent de développer des plateformes numériques de simulation, intégrant des environnements interactifs, des flux de données synthétiques, et des outils collaboratifs. Ces plateformes permettraient de standardiser les exercices, de faciliter leur évaluation, et d'archiver les retours d'expérience pour un usage futur.

Enfin, un effort particulier devrait être consacré à la sensibilisation à la culture de sécurité dans son ensemble. Celle-ci ne se limite pas à la technique : elle englobe les comportements, les pratiques organisationnelles, la communication entre acteurs, et l'acceptation de l'erreur comme levier d'apprentissage.

Développer cette culture, dans le respect des principes de l'OACI et des systèmes de gestion de la sécurité (SGS), constitue un objectif stratégique pour toute structure de formation aéronautique.

4.5 – Perspectives d'évolution et pistes futures de recherche ou de développement :

Au-delà des enseignements tirés de l'exercice réalisé, cette expérience ouvre la voie à plusieurs perspectives prometteuses pour le développement de la formation, de la recherche appliquée, et de l'optimisation des dispositifs d'enquête en sécurité aérienne.

Dans un premier temps, il serait pertinent de poursuivre la démarche entreprise par des projets de recherche-action intégrés, impliquant à la fois les établissements académiques, les organismes de l'aviation civile et les entités industrielles. Ces projets pourraient consister en l'analyse de scénarios complexes, le développement de méthodologies d'enquête innovantes, ou la mise en place de simulateurs d'incidents à haute-fidélité.

Par ailleurs, l'introduction de simulations interinstitutionnelles – réunissant par exemple des étudiants, des contrôleurs aériens, des techniciens de maintenance et des responsables de gestion de crise – permettrait de recréer les chaînes décisionnelles réelles dans un contexte collaboratif. Ces exercices contribueraient à renforcer les réflexes collectifs, la communication interprofessionnelle et la prise de décision en environnement incertain.

Une autre piste consisterait à élargir le périmètre d'étude aux accidents historiques complexes, en les réexaminant sous l'angle des outils modernes d'analyse des causes. Une telle approche offrirait non seulement une base pédagogique riche, mais aussi un levier de révision des procédures actuelles.

Enfin, à l'échelle nationale, le développement d'un corpus de simulations certifiées, mutualisées entre les écoles de formation aéronautique, constituerait un progrès considérable. Cela permettrait d'unifier les standards d'apprentissage, de capitaliser les expériences locales, et d'alimenter une base de données pédagogique structurée, alignée avec les objectifs de sécurité globale définis par l'OACI.

Ces pistes, bien que ambitieuses, sont accessibles à moyen terme et s'inscrivent dans une dynamique d'évolution continue. Elles témoignent d'une volonté de dépasser le cadre académique pour contribuer activement à l'amélioration des pratiques professionnelles dans le domaine sensible et stratégique de la sécurité aérienne.

Ce quatrième chapitre a permis de porter un regard réflexif sur l'ensemble de la démarche entreprise, en mettant en lumière à la fois les apports concrets de l'exercice de simulation et ses limites intrinsèques. À travers une analyse critique, il a été possible d'identifier les compétences mobilisées, les enseignements professionnels retirés, ainsi que les axes d'amélioration envisageables dans la mise en œuvre d'enquêtes simulées en environnement académique.

Les recommandations proposées s'inscrivent dans une logique de renforcement de la qualité des formations liées à la sécurité aérienne. Elles soulignent l'importance de multiplier les exercices immersifs, de consolider les partenariats avec les structures professionnelles, et de développer une culture d'analyse systémique partagée entre les acteurs du secteur.

Enfin, les perspectives dégagées à l'issue de cette réflexion ouvrent des horizons stimulants pour la recherche appliquée, l'innovation pédagogique et l'évolution des pratiques d'enquête. L'enjeu dépasse le cadre de cette étude pour toucher à une ambition plus large : faire des futures générations d'intervenants de véritables acteurs de la prévention aéronautique, capables d'agir avec rigueur, discernement et responsabilité.

CONCLUSION GENERALE :

Le présent mémoire s'est consacré à une exploration approfondie, structurée et appliquée de la conduite d'une enquête technique suite à un événement de sécurité dans le domaine de l'aviation civile. Dans un secteur où la sécurité est non seulement un impératif réglementaire mais aussi un enjeu sociétal majeur, il devient essentiel de maîtriser les processus qui permettent de comprendre les causes des accidents et d'en tirer des leçons concrètes. Ce travail s'inscrit dans une logique de formation, d'analyse et de prévention. Il a été mené en prenant comme fil conducteur les prescriptions normatives internationales, principalement celles édictées par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), à travers notamment l'Annexe 13 et le Doc 9756 – Manuel d'enquête. L'approche adoptée a été volontairement transversale : elle a cherché à conjuguer les dimensions théoriques, réglementaires, institutionnelles, humaines et techniques de l'enquête de sécurité aéronautique. Le choix de réaliser une simulation complète a permis d'illustrer concrètement les mécanismes mis en jeu, tout en respectant les étapes formelles requises dans une véritable investigation. En résumé, le mémoire visait à démontrer qu'une méthodologie académique rigoureuse pouvait non seulement reproduire les schémas opérationnels réels, mais aussi constituer un outil de renforcement des compétences professionnelles dans un domaine aussi sensible et exigeant que l'enquête aérienne.

Dans une première phase, le travail a consisté à explorer les fondements conceptuels et réglementaires de l'enquête de sécurité. Une attention particulière a été portée aux principes de base qui fondent toute investigation technique moderne : l'objectivité, l'indépendance vis-à-vis des responsabilités pénales, la transparence du processus, et l'orientation vers l'amélioration systémique plutôt que la recherche de faute individuelle. À travers l'étude de l'Annexe 13 de la Convention de Chicago et des autres textes de référence, j'ai pu établir les bases juridiques solides sur lesquelles repose toute enquête crédible. Par ailleurs, une analyse détaillée des principaux organismes internationaux – tels que le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA), le National Transportation Safety Board (NTSB) ou encore l'Air Accidents Investigation Branch (AAIB) – a été menée afin de mettre en lumière les rôles, compétences et spécificités de chaque structure. J'ai également mis l'accent sur la diversité des outils analytiques utilisés dans les processus modernes, en particulier les modèles de Reason, SHELL, HFACS ou encore l'arbre des causes. Cette partie théorique n'a pas été pensée comme une simple revue documentaire, mais comme une étape essentielle pour construire une capacité d'analyse robuste, en phase avec les exigences de la discipline. Elle a posé le socle qui a permis, dans les chapitres suivants, de bâtir une application concrète fidèle aux standards internationaux.

Le cœur du mémoire repose sur la mise en œuvre d'une simulation complète d'enquête, structurée autour d'un incident fictif mais crédible : un dysfonctionnement du train d'atterrissement avant survenu lors d'un vol d'entraînement. Ce scénario, bien qu'élaboré en milieu académique, a été conçu selon les standards décrits dans le Doc 9756 de l'OACI. Il a servi de base à l'activation d'une enquête technique

conforme aux pratiques professionnelles : alerte initiale, désignation d'un responsable d'enquête, établissement du périmètre de sécurité, collecte d'informations disponibles, entretiens simulés, analyse séquentielle des événements, recherche des causes contributives et élaboration de recommandations. Cette démarche a permis de mobiliser un éventail de compétences : lecture de checklists, analyse des facteurs humains, confrontation de témoignages, rédaction d'un rapport technique complet et formalisé. Le document final, produit en tant que "rapport d'enquête", a été structuré selon les modèles proposés par l'OACI et reprend toutes les rubriques exigées, depuis le résumé factuel jusqu'aux recommandations en passant par les analyses techniques et organisationnelles. Par ce travail, j'ai pu expérimenter dans des conditions réaliste les contraintes de temps, de clarté d'écriture, et de logique de raisonnement qu'impose toute enquête crédible. Cette simulation représente ainsi un véritable laboratoire pédagogique permettant d'ancrer les acquis théoriques dans un contexte opérationnel cohérent.

Dans la dernière partie du mémoire, j'ai pris le soin d'analyser de manière critique et réflexive les apports, mais aussi les limites de la démarche adoptée. D'un point de vue positif, l'exercice a permis de renforcer considérablement mes compétences méthodologiques, de mieux comprendre les logiques institutionnelles et d'adopter une approche systémique des incidents. La structuration du raisonnement, la rigueur dans l'analyse causale, et l'utilisation d'outils reconnus internationalement ont constitué des apports concrets. Toutefois, j'ai aussi pleinement conscience des limites inhérentes à toute simulation.

L'absence de données réelles – notamment de CVR, FDR, rapports météo certifiés ou éléments matériels – a restreint la richesse des analyses. De même, le facteur émotionnel et la pression contextuelle qui accompagnent une enquête réelle ne peuvent être reproduits fidèlement en contexte académique. Le manque d'interaction avec des acteurs institutionnels – comme une autorité d'enquête, un constructeur ou une compagnie aérienne – constitue également un élément de différence notable. Enfin, l'absence de validation externe par une autorité reconnue limite la portée officielle des résultats. Ces limites, loin de décrédibiliser le travail, soulignent au contraire la nécessité d'intégrer de telles simulations dans un processus plus large, associant terrain, supervision experte et validation institutionnelle.

Au regard de l'ensemble du travail réalisé, plusieurs perspectives peuvent être envisagées afin d'enrichir les pratiques pédagogiques et professionnelles liées à la conduite des enquêtes de sécurité aérienne. Tout d'abord, il apparaît nécessaire de systématiser l'intégration de simulations dans les cursus de formation aéronautique. Ces exercices, bien conçus, permettent non seulement d'illustrer les concepts théoriques, mais aussi de développer des compétences concrètes : prise de décision, communication en situation de crise, formulation d'hypothèses, et production de rapports techniques. Il conviendrait également de favoriser la collaboration entre établissements de formation et organismes d'enquête nationaux ou régionaux, afin d'ancrer les simulations dans des cadres plus authentiques, avec l'appui de professionnels expérimentés.

Par ailleurs, le développement d'outils numériques (logiciels de gestion d'enquête, simulateurs interactifs, plateformes d'analyse causale) pourrait enrichir considérablement l'expérience de formation. Ces ressources permettraient de reproduire, dans un environnement contrôlé, les situations complexes rencontrées dans les enquêtes réelles. Une autre piste prometteuse serait la création d'un module interdisciplinaire dédié à la sécurité aérienne, intégrant à la fois les aspects réglementaires, psychologiques, techniques et organisationnels. Cette approche globale favoriserait une meilleure compréhension des systèmes complexes et des interactions humaines dans le domaine aéronautique.

Enfin, sur un plan institutionnel, il serait pertinent de promouvoir la mise en place d'un cadre national harmonisé pour les simulations pédagogiques d'enquête, aligné sur les recommandations de l'OACI. Ce dispositif pourrait contribuer à une meilleure préparation des futurs intervenants, tout en favorisant la diffusion d'une culture de sécurité proactive. Le présent mémoire, bien qu'inscrit dans une démarche académique, peut ainsi constituer une base de référence pour des projets de développement futurs, tant dans le champ de la formation que dans celui de la recherche appliquée.

BIBLIOGRAPHIE:

I - Documents officiels de l'OACI:

1. OACI, Annexe 13 – Enquêtes sur les accidents et incidents d’aviation, 11^e édition, juillet 2016.
2. OACI, Doc 9756 – Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation, Part I: Organization and Planning, 1^{re} édition, 2001.
3. OACI, Doc 9756 – Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation, Part II: Procedures and Checklists, 1^{re} édition, 2002.
4. OACI, Doc 9756 – Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation, Part III: Investigation, 1^{re} édition, 2012.
5. OACI, Doc 9756 – Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation, Part IV: Reporting, 1^{re} édition, 2013.
6. OACI, Doc 9859 – Safety Management Manual (SMM), 4^e édition, 2018.
7. OACI, Doc 9734 – Safety Oversight Manual, Part A, 2^e édition, 2006.
8. OACI, Doc 9734 – Safety Oversight Manual, Part B, 1^{re} édition, 2006.
9. OACI, Convention relative à l’aviation civile internationale (Convention de Chicago), 1944 (version consolidée 2006).
10. OACI, Doc 4444 – Procédures pour les services de navigation aérienne – Gestion du trafic aérien (PANS-ATM), 16^e édition, 2016.
11. OACI, Doc 9962 – Manual on Flight Data Monitoring (FDM), 1^{re} édition, 2010.
12. OACI, Doc 10062 – Manual on Accident and Incident Investigation Policies and Procedures, 1^{re} édition, 2017.

II - Rapports et références d’organismes d’enquête:

13. BEA, Rapport final – Accident du vol Rio-Paris AF447, Airbus A330-203 F-GZCP, 1er juin 2009. Publié en juillet 2012.
14. BEA, Rapport d’enquête – Accident du vol Germanwings 4U9525, Airbus A320-211 D-AIPX, 24 mars 2015. Publié en 2016.
15. BEA, Rapport final – Accident du Concorde F-BTSC, Air France vol 4590, Gonesse, 25 juillet 2000. Publié en 2002.
16. BEA, Rapport final – Accident d’Helios Airways 522, Boeing 737-300, Grèce, 14 août 2005. Publié en 2006.
17. NTSB, Aircraft Accident Report – Asiana Airlines Flight 214, Boeing 777-200ER, juillet 2014.

18. NTSB, Aircraft Accident Report – Colgan Air Flight 3407, Bombardier DHC-8-400, février 2009. Rapport publié en 2010.
19. NTSB, Aircraft Accident Report – Trans World Airlines Flight 800, Boeing 747-100, 17 juillet 1996. Rapport publié en 2000.
20. AAIB, Report on the accident to Boeing 777-236ER G-YMM, London Heathrow, 17 janvier 2008. Publié en 2010.
21. AAIB, Report on the accident to Airbus A321-231 G-MEDN, London Gatwick, 2013. Publié en 2015.
22. ATSB, Final Report – Collision with terrain involving Lockheed Martin C-130J, A97-005, 2020.
23. TSB Canada, Rapport final – Swissair Flight 111, MD-11 HB-IWF, 2 septembre 1998. Publié en 2003.
24. TSB Canada, Rapport final – Air Ontario Flight 1363, Fokker F28, Dryden, 1989. Publié en 1992.

III - Ouvrages académiques et modèles théoriques:

25. Reason, James. Human Error. Cambridge University Press, 1990.
26. Reason, James. Managing the Risks of Organizational Accidents. Ashgate Publishing, 1997.
27. Reason, James. The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents and Heroic Recoveries. Ashgate, 2008.
28. Wiegmann, Douglas A. & Shappell, Scott A. A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis – The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). Ashgate, 2003.
29. Dekker, Sidney. The Field Guide to Understanding Human Error. 3^e édition, CRC Press, 2014.
30. Dekker, Sidney. Drift into Failure: From Hunting Broken Components to Understanding Complex Systems. CRC Press, 2011.
31. Hollnagel, Erik. Barriers and Accident Prevention. Ashgate, 2004.
32. Hollnagel, Erik. Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management. Ashgate, 2014.
33. Amalberti, René. La conduite des systèmes à risques. Presses Universitaires de France, 2001.
34. Maurino, Daniel, Reason, James, Johnston, Neil & Lee, Rob. Beyond Aviation Human Factors: Safety in High Technology Systems. CRC Press, 1995.
35. Hawkins, Frank H. Human Factors in Flight. 2^e édition, Routledge, 1997.

IV - Références algériennes :

36. République Algérienne Démocratique et Populaire, Loi n° 98-06 du 27 juin 1998 relative à l'aviation civile, Journal Officiel de la République Algérienne, n° 47, 1998.
37. République Algérienne Démocratique et Populaire, Décret exécutif n° 02-43 du 30 janvier 2002 fixant les missions, l'organisation et le fonctionnement de l'Autorité de l'Aviation Civile et de la Météorologie, Journal Officiel n° 5, 2002.
38. République Algérienne Démocratique et Populaire, Arrêté interministériel du 12 mai 2005 relatif à l'enquête technique sur les accidents et incidents d'aviation civile, Journal Officiel, 2005.
39. Direction de l'Aviation Civile et de la Météorologie (DPCM), Bulletin officiel de la réglementation aéronautique en Algérie, Ministère des Transports, édition 2010.

ANNEXES:

Annexe 1: Modèles analytiques utilisés dans l'enquête :

Cette annexe regroupe les principaux modèles d'analyse utilisés dans le cadre du travail de recherche et de simulation. Ces outils, recommandés par l'OACI (Doc 9756, Doc 9859), permettent d'expliquer les causes profondes des événements de sécurité aéronautique.

Les figures suivantes sont également présentées dans le Chapitre 2.4, mais reprises ici à titre de référence documentaire.

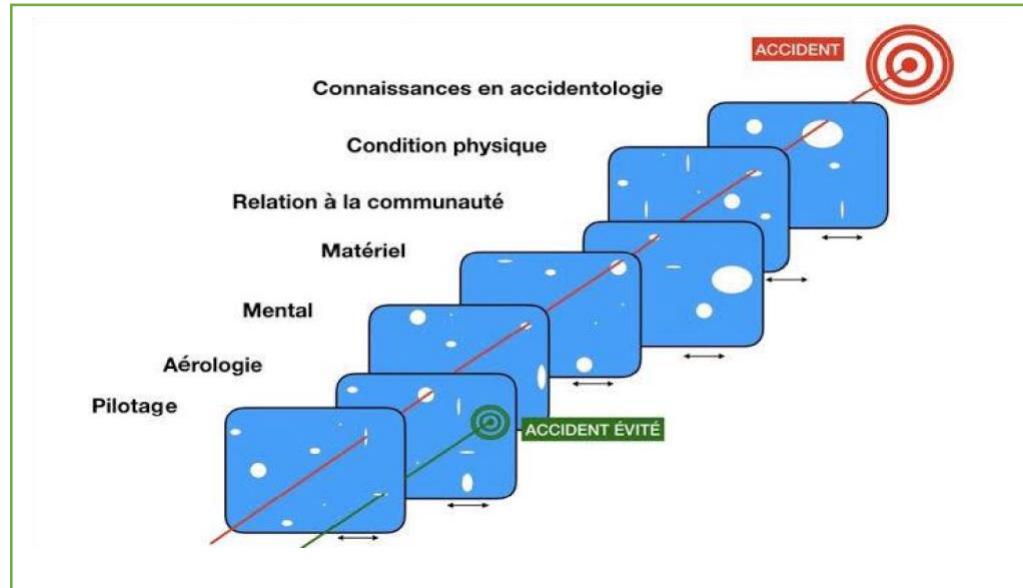
- Figure A1 – Modèle de Reason (Swiss Cheese Model)

Représentation des défaillances actives et latentes à travers des couches de défense imparfaites. Ce modèle systémique est central dans l'analyse des facteurs contributifs aux accidents.

Titre : Modèle de Reason – Illustration des barrières défaillantes selon le modèle du Swiss Cheese.

Source : Skybrary, d'après Reason (1990)

Voir aussi : Chapitre 2.4 – Outils d'analyse des causes .



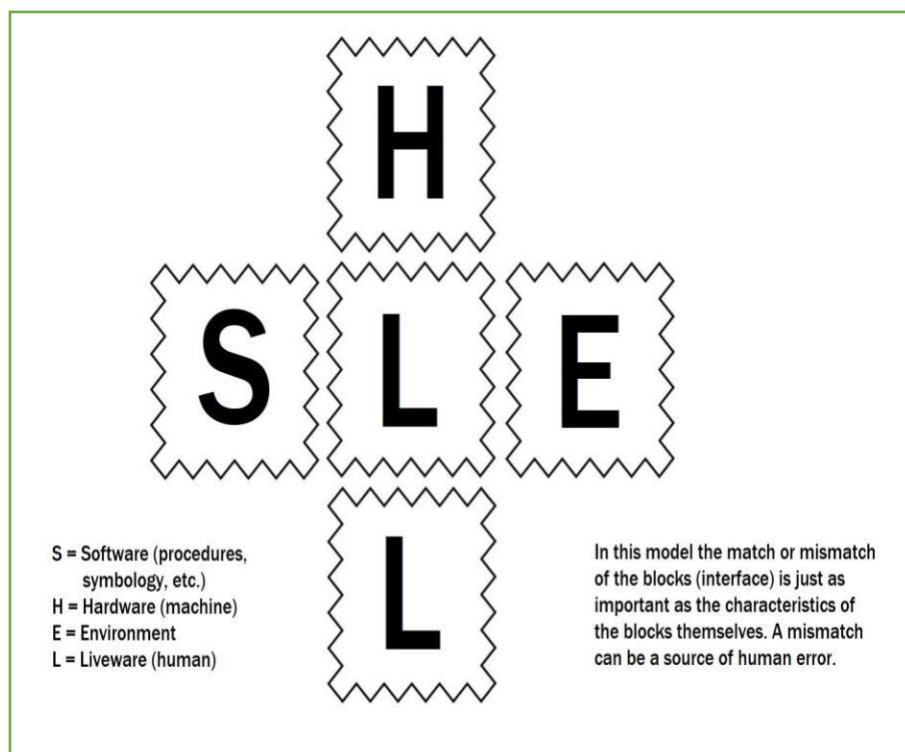
- Figure A2 – Modèle SHELL

Ce modèle met en évidence les interfaces critiques entre l'humain et les autres composantes du système aéronautique : procédures, équipements, environnement, et autres opérateurs humains.

Titre : Modèle SHELL – Interfaces critiques entre l'humain et les composants du système aéronautique

Source: ICAO Human Factors Digest / Skybrary

Voir aussi : Chapitre 2.4 – Outils d'analyse des causes



- Figure A3 – Modèle HFACS (Hiérarchie des facteurs humains)

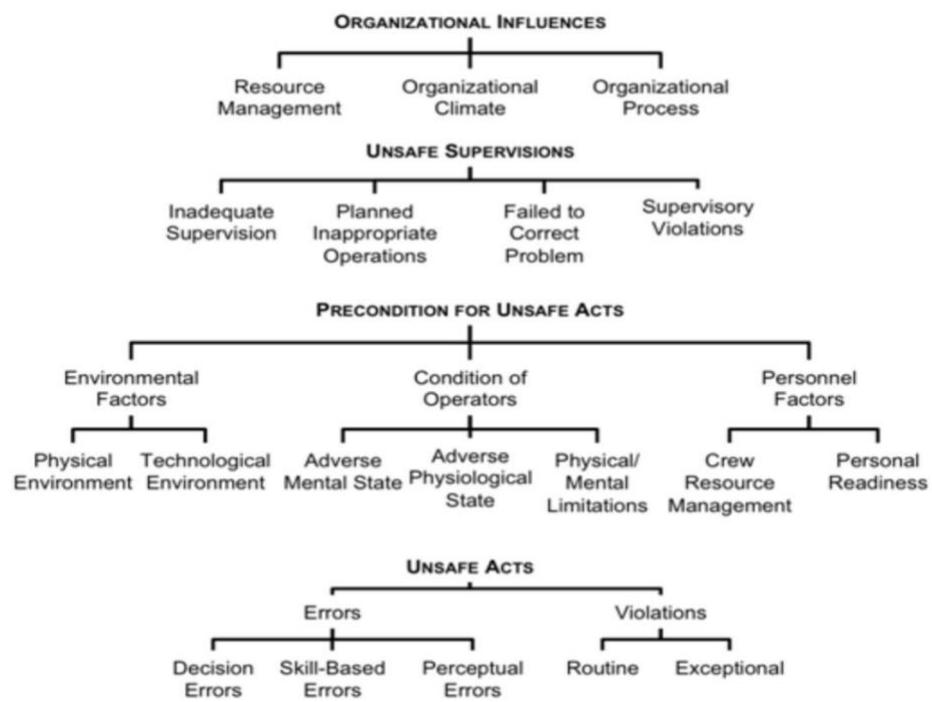
Une déclinaison hiérarchique du modèle de Reason, le HFACS permet de classer les causes humaines d'un accident selon quatre niveaux : actes, préconditions, supervision, organisation.

Titre : Modèle HFACS – Hiérarchie des facteurs humains contribuant aux accidents.

Source : HFACS LLC / Wikipédia

Voir aussi : Chapitre 2.4 – Outils d'analyse des causes

FEEDBACK



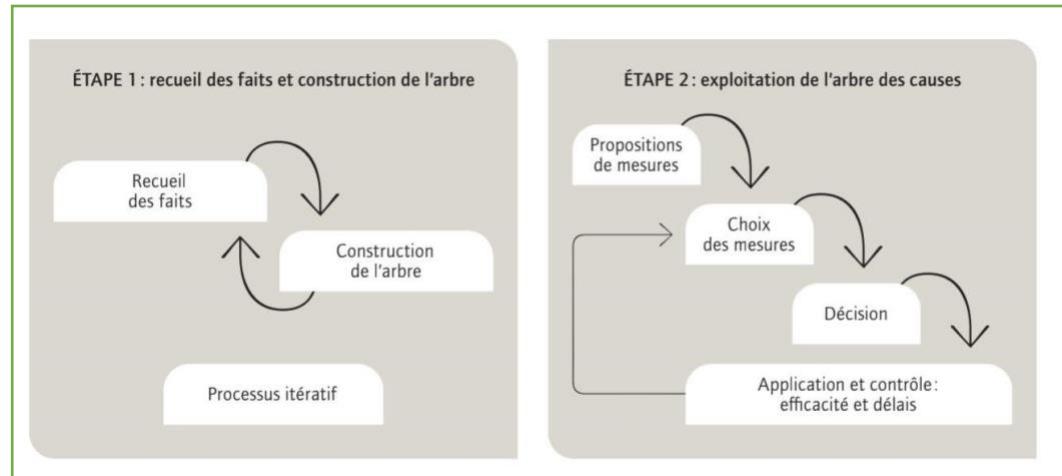
- Figure A4 – Arbre des causes

Outil d'analyse logique des relations entre les faits, défaillances et décisions ayant conduit à un événement. L'arborescence illustre la causalité systémique.

Titre : Étapes de l'application de la méthode de l'arbre des causes.

Source : INRS, ED 6163, Figure 2, page 8 édition 2006

Voir aussi : Chapitre 2.4 – Outils d'analyse des causes



Remarque :

Ces figures sont reprises dans leur intégralité dans le texte, mais présentées ici pour référence synthétique. Elles témoignent de l'approche interdisciplinaire adoptée dans le traitement du cas étudié.

Annexe 2 : Formulaires types utilisés dans l'enquête :

Cette annexe regroupe les principaux formulaires types utilisés lors de la simulation d'une enquête technique, conformément aux recommandations de l'OACI (Doc 9756). Ils ont été adaptés à un contexte académique et reproduisent les logiques opérationnelles mises en œuvre dans une véritable investigation : notification, constat initial, entretiens, sécurisation, et synthèse finale.

Formulaire 1 – Fiche de notification d'un événement aéronautique

Date et heure de l'événement : _____

Type d'aéronef : _____

Lieu exact (coordonnées, piste, etc.) : _____

Nature de l'événement (incident/accident) : _____

Description sommaire : _____

Dommages constatés : _____

Personnes impliquées : _____

Coordonnées du déclarant : _____

Formulaire 2 – Fiche de constat initial sur site

Heure d'arrivée sur site : _____

Conditions météorologiques : _____

État de l'aéronef : _____

Photographies prises (oui/non) : _____

Observations générales : _____

Premières hypothèses : _____

Formulaire 3 – Questionnaire d'entretien (équipage ou témoin)

Nom et fonction du témoin : _____

Moment de l'événement : _____

Observations ou perceptions : _____

Actions entreprises : _____

Commentaires libres : _____

Formulaire 4 – Checklist de sécurisation post-incident

Coupe du carburant / batterie

Vérification des fuites ou dangers immédiats

Mise en sécurité de la zone

Signalisation aux services compétents

Déclenchement du retour d'expérience (si applicable)

Formulaire 5 – Modèle vierge de rapport simplifié d'enquête

Résumé de l'événement : _____

Analyse technique : _____

Facteurs contributifs : _____

Recommandations proposées : _____

Rédigé par : _____ Date : _____

Annexe 3 : Extraits de textes réglementaires et normatifs :

Cette annexe présente une sélection structurée d'extraits de textes réglementaires et normatifs utilisés comme références principales dans le cadre de ce mémoire. Elle regroupe les définitions clés, les principes directeurs de l'enquête de sécurité aéronautique, ainsi que les exigences relatives à la rédaction du rapport final et à la répartition des responsabilités entre les acteurs du secteur.

Les sources mobilisées sont principalement issues des documents officiels de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), notamment l'Annexe 13, le Doc 9756 – Manuel d'enquête, et le Doc 9859 – Manuel de gestion de la sécurité.

Ces textes ont servi de base à la construction de la méthodologie d'enquête appliquée dans le cas simulé et ont orienté l'ensemble de la démarche académique et opérationnelle adoptée.

Extrait 1 – OACI, Annexe 13 à la Convention de Chicago

Article 3. Objectif de l'enquête :

« L'unique objectif de l'enquête sur un accident ou un incident est la prévention des accidents et incidents. Il ne s'agit pas de déterminer la faute ou la responsabilité. »

Extrait 2 – OACI, Doc 9756 – Manuel d'enquête sur les accidents et incidents d'aviation :

Partie IV : Rédaction du rapport final

« Le rapport final doit contenir une description complète des faits établis, une analyse détaillée des facteurs contributifs, et des recommandations de sécurité formulées de manière claire, sans chercher à imputer une faute. »

Extrait 3 – Réglementation algérienne (Décret exécutif n° 16-45 du 4 février 2016) :

Article 5 :

« L'enquête est menée par une autorité technique indépendante, distincte des services de l'exploitation ou de la régulation. Les résultats de l'enquête ne peuvent être utilisés à des fins judiciaires sans autorisation expresse. »

Extrait 4 – Code de l'aviation civile et commerciale algérien :

Chapitre 2 – Enquêtes sur les accidents :

« Toute compagnie opérant sur le territoire national est tenue de coopérer avec l'autorité d'enquête, de fournir les documents requis, et de préserver les preuves matérielles disponibles. »

Document A – Extrait de l'Annexe 13 – Définition d'un accident / incident :

Définitions selon l'OACI – Annexe 13 (Chapitre 1) :

« Accident : Un événement lié à l'exploitation d'un aéronef, qui se produit entre le moment où une personne monte à bord avec l'intention d'effectuer un vol et celui où toutes les personnes sont descendues, et dans lequel : – une personne est mortellement ou gravement blessée, – l'aéronef subit des dommages ou une rupture structurelle, – l'aéronef est porté disparu.

Incident : Un événement, autre qu'un accident, qui affecte ou pourrait affecter la sécurité de l'exploitation. »

Document B – Article 5.1 de l'Annexe 13 : Objectif de l'enquête :

« L'unique objectif de l'enquête sur un accident ou un incident est la prévention de futurs accidents et incidents. Il ne s'agit pas de déterminer la faute ou la responsabilité. »

Document C – Doc 9756, Partie IV – Contenu du rapport final :

« Le rapport final doit comporter, au minimum :

- 1- Résumé
- 2- Informations factuelles
- 3- Analyse
- 4- Conclusions (causes probables)
- 5- Recommandations de sécurité
- 6- Annexes (si applicables) »

(Source : OACI, Doc 9756 – Part IV, Section 4.2)

Annexe 4 : Rapport Final d'Enquête Technique

Titre : Incident simulé – Train d'atterrissage avant non sorti

A- Informations générales :

Date de l'événement : 12 avril 2025.

Lieu : Aérodrome d'instruction – Piste 14L.

Type de vol : Vol d'entraînement académique. Aéronef : Monomoteur léger, type X.

Régime de vol : VFR – Conditions météorologiques favorables.

Nombre de personnes à bord : 2 (instructeur + élève pilote).

Blessures : Aucune.

Dommages matériels : Légers dommages à la structure inférieure avant.

Organisation exploitante : Centre de formation aéronautique – Environnement simulé.

B- Résumé factuel :

Lors de la phase d'approche d'un vol d'instruction standard, l'équipage a constaté l'absence d'indication verte confirmant la sortie du train avant. Après plusieurs tentatives de rétraction et d'extension manuelle, l'instructeur a pris la décision de procéder à un atterrissage partiel, en posant l'aéronef sur les roues principales uniquement. L'atterrissement a été exécuté avec maîtrise, le nez de l'appareil touchant ensuite le sol, provoquant un frottement contrôlé.

Aucun blessé n'est à déplorer. L'aéronef a été immobilisé et sécurisé sur la piste.

Une inspection visuelle a confirmé l'absence de sortie du train avant.

C- Déroulement chronologique de l'événement :

13h04 : Décollage normal, météo stable.

13h28 : Descente vers la piste 14L.

13h32 : Vérification du train avant – absence de confirmation visuelle.

13h35 : Essais manuels de commande – échec.

13h38 : Contact radio avec le contrôle – déclaration d'incident.

13h44 : Tour d'attente au-dessus de la zone d'entraînement.

13h51 : Décision d'atterrir sur les roues principales.

13h54 : Atterrissage réussi – inclinaison du nez – arrêt total.

14h02 : Sécurisation de l'aéronef – évacuation préventive.

D- Analyse technique :

L'analyse de la simulation indique un probable blocage mécanique du mécanisme de verrouillage du train avant, possiblement causé par :

Une usure anormale d'un composant interne (réservoir hydraulique auxiliaire)
Une absence de contrôle systématique de ce composant lors de l'inspection prévol,
L'absence d'alerte sonore automatique dans cette configuration

E- Facteurs contributifs identifiés :

Facteur technique : défaillance latente du système hydraulique secondaire

Facteur humain : interprétation tardive de l'anomalie par l'élève pilote
Facteur organisationnel : absence de procédure spécifique pour ce type d'anomalie dans les manuels internes

Formation : lacune dans l'entraînement sur procédures d'urgence mécaniques

F- Mesures immédiates prises :

- Inspection complète du système de train avant par l'équipe technique
- Suspension provisoire de l'aéronef pour maintenance préventive
- Briefing interne avec l'ensemble des instructeurs du centre

G- Recommandations de sécurité :

- Révision des checklists prévol pour inclure un contrôle visuel manuel du verrou hydraulique.
- Ajout de modules de formation spécifiques aux défaillances mécaniques imprévues.
- Mise en place d'un retour d'expérience systématique pour tout incident d'entraînement.
- Élaboration d'un manuel de simulation interne conforme au Doc 9756.

H. Conclusion de l'enquête :

L'incident simulé met en lumière la complexité des interactions entre facteurs techniques, humains et organisationnels. Il illustre parfaitement l'importance d'un entraînement rigoureux, d'une maintenance préventive exhaustive, et d'un cadre pédagogique structuré. Bien que fictif, ce scénario reflète des situations réelles rencontrées dans l'aviation générale.

Rédigé par : Lounadi Abdelfettah
Qualité : Étudiant – Master en Navigation Aérienne
Date de clôture du rapport : 02 juillet 2025

Annexe 5: Documents complémentaires et témoignages simulés:

Cette annexe regroupe un ensemble de documents complémentaires produits ou simulés dans le cadre de l'enquête académique.

Ils illustrent différentes étapes du processus d'investigation, notamment les échanges entre acteurs, les observations techniques, les comptes rendus internes et les mesures de coordination.

Bien que ces pièces ne soient pas toutes incluses dans le rapport final, elles témoignent de la richesse documentaire mobilisable dans une enquête technique, en conformité avec les principes de l'OACI.

Les documents suivants sont présentés à titre illustratif :

Document A : Fiche de débriefing de l'équipage

Document B : Note de maintenance antérieure

Document C : Extrait du logbook simulé

Document D : Synthèse du briefing de sécurité pré-vol

Document E : Courriel simulé d'alerte à l'autorité

Document A Fiche de débriefing de l'équipage:

FICHE DE DÉBRIEFING DE L'ÉQUIPAGE

Date : 12 mai 2024

Vol concerné : Vol d'instruction - Circuit local - Appareil monomoteur

Équipage : Instructeur (Nom fictif : Capitaine N. ZAKI) / Élève pilote (Y. ABDELHADI)

Débriefing post-vol :

Le vol s'est déroulé normalement jusqu'à la phase finale du troisième circuit.

Lors de la demande de sortie du train d'atterrissage, nous avons remarqué une absence d'indication de verrouillage pour la jambe avant. Plusieurs tentatives de manœuvre ont été effectuées sans succès.

Le système ne répondait pas aux commandes hydrauliques. Nous avons décidé de maintenir une altitude de sécurité en attente au-dessus de l'aérodrome, le temps d'évaluer la situation.

L'atterrissement a été effectué sur les roues principales, avec une descente contrôlée du nez. Aucun blessé n'est à signaler.

La coordination avec la tour de contrôle et les services d'urgence a été efficace.

Commentaires :

L'élève pilote a réagi avec calme, a suivi les procédures, et a participé activement à la gestion de l'incident.

Une remarque cependant : le manque d'entraînement spécifique à cette panne a rendu la prise de décision initiale un peu hésitante.

Signé :

Cdt N. ZAKI

Instructeur principal

Document B Note de maintenance précédente:

NOTE TECHNIQUE DE MAINTENANCE (Extrait du carnet d'entretien)

Date : 28 avril 2024

Aéronef : Appareil d'entraînement - Monomoteur

Numéro de série : 0216-BL / Immatriculation fictive : 7T-EDZ

Observation signalée :

Au cours de la visite périodique (50h), le technicien de maintenance a constaté une légère humidité au niveau du vérin hydraulique du train avant.

Aucune fuite franche n'a été détectée, mais un nettoyage de précaution a été effectué.

Aucune action corrective immédiate n'a été entreprise, la pression du circuit étant jugée dans les tolérances.

Recommandation :

Surveillance renforcée lors des prochaines 5 heures de vol.

Prévoir une inspection plus poussée si le symptôme persiste.

Signé :

T. AIT MESSAOUD

Technicien principal - Section maintenance

Centre de formation aéronautique

Document C - Capture d'écran du logbook simulé:

EXTRAIT DU LOGBOOK - AÉRONEF D'INSTRUCTION
(Date du vol : 12 mai 2024)

Heure de début : 10h32

Heure d'atterrissement : 10h57

Durée du vol : 25 minutes

Nom de l'élève : Y. ABDELHADI

Instructeur : Cdt N. ZAKI

Conditions météo : CAVOK

Type de mission : Vol de circuits - Entraînement

Incident déclaré :

Non-sortie du train avant lors de l'approche finale. Procédure d'attente enclenchée. Atterrissage effectué sur les roues principales.

Commentaires techniques :

Anomalie hydraulique suspectée. Aéronef immobilisé en attente d'expertise.

Signatures :

Pilote instructeur : [signé]

Mécanicien de piste : [signé]

Document D - Synthèse du briefing de sécurité pré-vol:

SYNTHESE DU BRIEFING DE SÉCURITÉ PRÉ-VOL

Date : 12 mai 2024

Vol concerné : Vol d'instruction - Circuit local

Équipage : Cdt N. ZAKI (instructeur) / Y. ABDELHADI (élève pilote)

Objectifs du vol :

- Révisions des circuits d'aérodrome (décollage, tour de piste, approche)
- Précision dans les procédures d'approche finale
- Gestion de la communication ATC

Briefing sécurité :

- ✓ Vérification complète de la check-list pré-vol
- ✓ Rappel des procédures en cas de panne moteur ou d'incident de train
- ✓ Communication : Utilisation du langage standardisé avec la tour
- ✓ Altitude minimale pour attente : 1500 ft QNH
- ✓ Décision partagée sur toute anomalie : coordination entre instructeur et élève
- ✓ Appui visuel sur l'état du train (via inspection au sol si nécessaire)

Commentaires du commandant :

L'élève a montré une bonne compréhension des procédures et a été encouragé à poser des questions en vol en cas d'ambiguïté.

Signé :

Cdt N. ZAKI

Instructeur principal

Document E Courriel simulé d'alerte à l'autorité:

OBJET : Déclaration d'un incident - Vol d'instruction 12/05/2024

De : responsable.exploitation@cf-aero.dz

À : bureau-enquetes@aviation.gov.dz

Date : 12/05/2024 - 14h11

Pièces jointes : Rapport préliminaire / Photos / Logbook

Madame, Monsieur,

Nous vous informons qu'un incident technique s'est produit ce jour, le 12 mai 2024, à 10h57 locale, sur l'aéronef monomoteur d'instruction immatriculé 7T-EDZ, lors d'un vol d'entraînement encadré par notre centre de formation aéronautique.

Résumé de l'événement :

La jambe de train avant ne s'est pas déployée en approche finale, nécessitant un atterrissage sur les roues principales. L'équipage a appliqué les procédures d'urgence et aucun blessé n'est à déplorer. L'appareil a subi des dommages à l'avant, actuellement en cours d'évaluation.

Conformément aux procédures, un rapport d'enquête interne a été ouvert.

Nous restons disponibles pour toute demande de documentation complémentaire.

Veuillez recevoir, Madame, Monsieur, nos salutations distinguées.

Responsable d'exploitation
Centre de formation aéronautique

-