

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad Dahleb de Blida



**INSTITUT D'AERONAUTIQUE ET DES ETUDES SPATIALES**

**Département de Construction Aéronautique**

**ORGANISATION DE LA MAINTENANCE  
ET  
RECHERCHE DE PANNES**

Fascicule de cours rédigé Par :

**Dr ABADA Omar**      Maitre de Conférences

# SOMMAIRE

## Chapitre 1 : GENERALITES ET DEFINITIONS

1.1. Introduction .....	3
1.2. Définition de la maintenance .....	4
1.3. Objectifs et avantages de la maintenance .....	4
1.4. Différentes politiques de maintenance en aéronautique .....	7
1.5. Aspects économique .....	9
1.6. Moyens de diminution du coût d'entretien .....	9
1.6.1. Coopération technique .....	9
1.6.2. Notion de sondage .....	9
1.6.3. Entretien effectué dans la compagnie totalement .....	10
1.6.4. Entretien progressive .....	10
1.7. Norme ATA-100 .....	10

## Chapitre 2 : MAINTENANCE EN AERONAUTIQUE

2.1. Introduction .....	23
2.2. Maintenance programmée .....	23
2.3. Maintenance non programmée .....	26
2.4. Différents modes d'entretien .....	27
2.4.1. Temps avec temps limite (Hard Time : HT) .....	27
2.4.2. Temps selon vérification de l'état (On Condition : OC ) .....	28
2.4.3. Temps avec surveillance du comportement (Condition Monitoring : CM) .....	29
2.5. Choix du mode d'entretien .....	29
2.6. Différents types ou forme de maintenance .....	30
2.6.1. Maintenance corrective .....	31
2.6.2. Maintenance préventive .....	32
2.6.3. Maintenance améliorative .....	33
2.7. La documentation aéronautique .....	34

## **Chapitre 3 : RECHERCHE DE PANNES**

3.1. Démarches de dépannage .....	38
3.2. Causes des déposes injustifiées dans les compagnies aériennes .....	38
3.3. Classe des pannes .....	39
3.4. Classes des alarmes .....	39
3.5. Les méthodes de dépannages .....	40
3.5.1. Méthode globale .....	40
3.5.2. Méthode progressive .....	41
3.5.3. Méthode analytique .....	41
3.6. Analyse des modes de défaillance leurs effets et criticités .....	42
3.7. Analyse des pannes .....	43
3.8. Définition de la sécurité .....	44
3.9. Programme de contrôle de fiabilité .....	45
Références.....	49
Annexe 'Preflight B737-800/ A330/ATR72 .....	50

# CHAPITRE 1

## GENERALITES ET DEFINITIONS

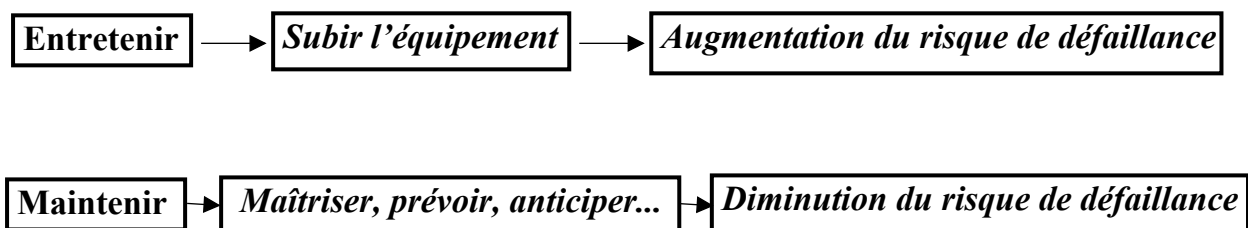
### 1.1. Introduction

L'industrialisation et la complexité des machines font que la place de la maintenance dans une entreprise de production devient de plus en plus importante. Dans ces entreprises, l'établissement d'une politique de maintenance est de plus en plus exigé. Elle s'articule autour de la formation, de la recherche et de la mise en place de nouvelles techniques de maintenance.

A la fin des années soixante-dix, l'entretien – on ne parlait pas encore de maintenance - était le parent pauvre de l'entreprise. Les dirigeants le considéraient comme un poste de dépenses et ne pensaient qu'à réduire ses coûts. Les choses ont changé et évolué telles que l'automatisation, la complexité des équipements, etc...

Cet état de fait a conduit à des coûts d'entretien qui ne cessent d'augmenter générant ainsi des coûts de production de plus en plus élevés. Les coûts directs, la main d'œuvre par exemple ainsi que la pièce de rechange, sont devenus secondaires par rapport aux coûts indirects tels que l'arrêt de la production, la conséquence de la panne, d'où la nécessité d'agir avant la défaillance.

Et c'est dans ces conditions que la maintenance ou la fonction maintenance est apparue, elle est devenue stratégique dans une unité de production. Pour le gestionnaire, la disponibilité des équipements est devenue essentielle :



**Figure 1.1.** Schéma de la fonction maintenance.

Et c'est à partir de là, que la maintenance s'est dotée de méthodes de gestion, d'organisation, de stratégies et d'aide au diagnostic des pannes. La maintenance intègre la notion de défaillance, ce qui n'est pas le cas de l'entretien. La gestion de la maintenance requiert

aujourd'hui une formation et une spécialisation professionnelle : école d'ingénieurs, formation professionnelle, etc...

La maintenance ne revient pas uniquement à réparer et à dépanner dans les plus brefs délais et au moindre coût un bien, La maintenance commence dès la conception de l'équipement, trois notions de base importantes en découlent :

- Apte à être entretenu : **Notion de Maintenabilité.**
- Présenter un risque de défaillance le moins élevé possible : **Notion de Fiabilité.**
- Assurer la production avec (qualité, sécurité et environnement) : **Notion de**

## **1.2. Définition de la Maintenance**

Selon la norme **AFNOR**, la définition la plus connue est donnée sous la forme suivante :

L'entretien d'un aéronef peut être défini comme étant l'ensemble des opérations et actions destinées à maintenir ou à remettre l'aéronef ou certains de ces éléments en état d'être exploités normalement comme lors de la certification. La maintenance consiste en plusieurs opérations dont : la vérification, révision, inspection, modification, ....

Cette définition comporte trois éléments importants :

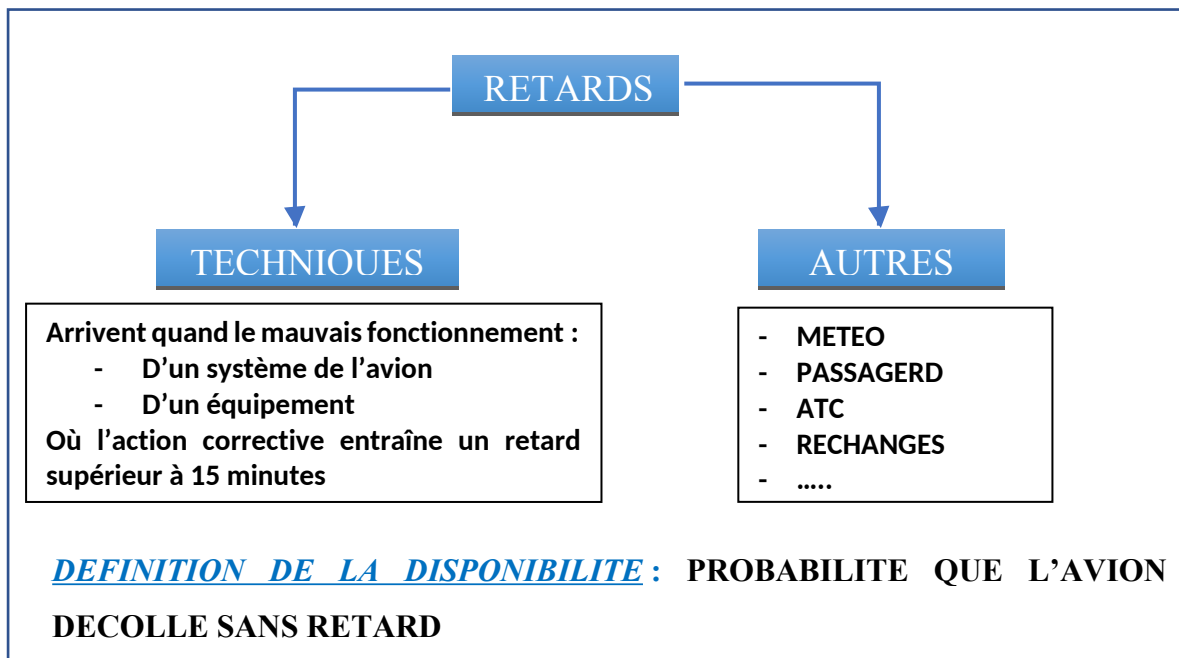
- La maintenance est un ensemble d'action et donc d'opérations physiques et matérielles telles que, l'intervention sur un équipement, le contrôle, la vérification, le réglage, etc...
- La tâche de la maintenance ne se résume pas uniquement à faire de la prévention pour éviter le plus possible la défaillance de l'équipement, mais aussi à intervenir sur ce dernier, après défaillance (panne), pour rétablir sa disponibilité.
- Après intervention sur l'équipement, que ça soit dans le cadre de la prévention ou de la réparation, l'équipement ne revient jamais à son état initial mais dans un état en mesure de remplir sa mission dans un système de production. Les traces d'usure subsistent même après intervention sur l'équipement.

## **1.3. Objectifs et avantages de la maintenance**

- ***LA SECURITE*** : C'est une exigence réglementaire et commerciale, L'aéronef doit, au cours du temps, conserver les caractéristiques de navigabilité définies et approuvées

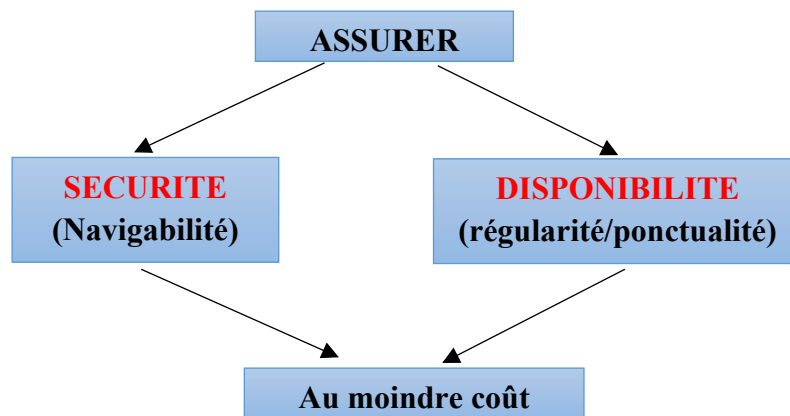
lors de sa certification (performances, domaine de vol, intégrité de la cellule et des propulseurs, ...), De plus un ou une série d'accident peut nuire à l'image de marque du transporteur et du constructeur.

- **LA DISPONIBILITE** : Un aéronef représente un investissement coûteux, les compagnies cherchent donc un taux d'utilisation élevé. Pour cela, un aéronef de transport doit être en état d'accomplir sa mission au moment voulu. Le retard ou l'annulation d'un vol constituent non seulement une perte pour la compagnie, mais nuisent aussi à son image auprès du passager. Eviter, dans une certaine mesure, cet inconvénient par un vol d'aéronef de réserve ou par des affrètements auprès d'autres transporteurs, ce qui n'est pas satisfaisant économiquement.



**Figure I.2.** Définition d'un Retard

- **LE COÛT** : Nous avons vues que la satisfaction des deux premiers objectifs, est dictée par des impératifs économiques, mais entretenir des aéronefs nécessite une organisation des moyens matériels et humaines. Minimiser le coût d'entretien constitue donc le 3<sup>ème</sup> objectif. Ainsi, il faut trouver le meilleur compromis entre les deux premiers objectifs et le troisième, avec pour contrainte la satisfaction des exigences réglementaire en matière de sécurité et de disponibilité (régularité).



(a) : Objectif de la maintenance

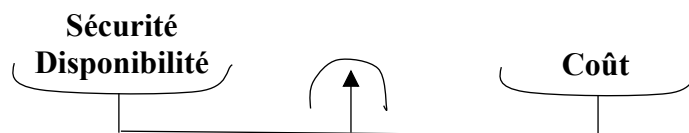
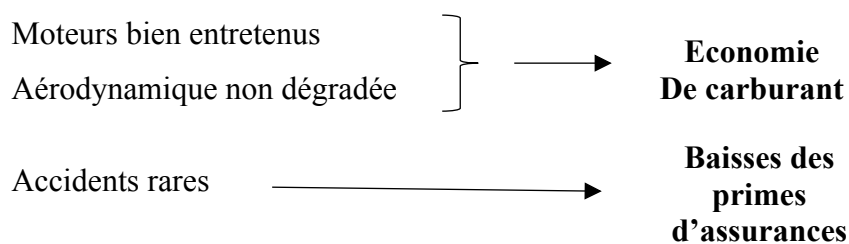


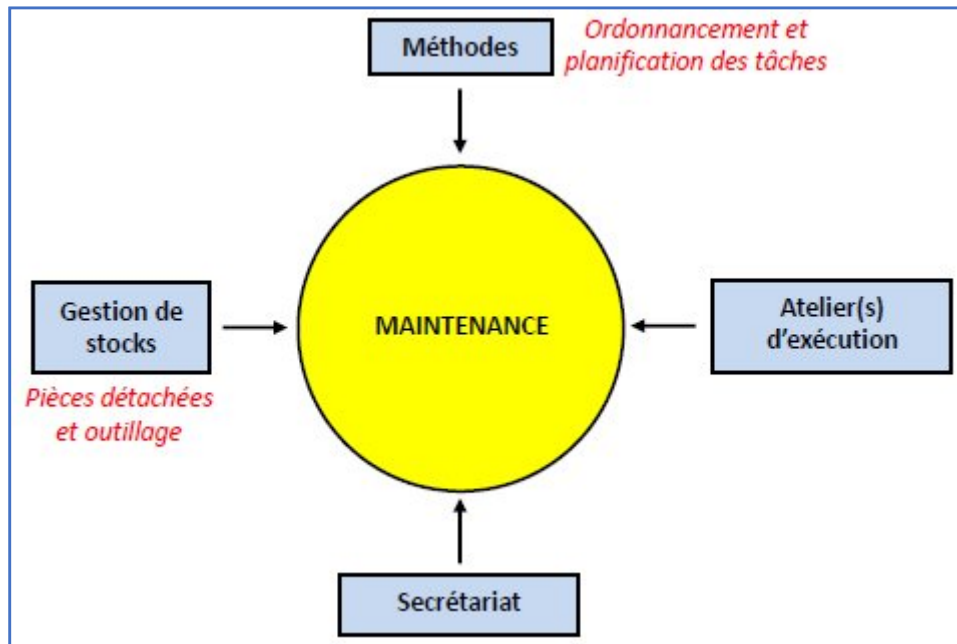
Figure I.3. Le concept de la maintenance

**Remarque :** Tout en cherchant à minimiser les coûts d’entretien, il ne faut pas perdre de vue que l’entretien peut lui-même contribuer à diminuer d’autres coûts ;



Pour un constructeur de matériel aéronautique, un coût d’entretien réduit est donc un argument de vente intéressant et ce facteur doit être pris en compte dès la conception du matériel : interventions d’entretien peu fréquentes, nécessitant peu de temps et de main d’œuvres, avec l’outillage le plus réduit possible.

La maintenance est dotée de moyens, de logistique et de structures pour son fonctionnement :



**Figure I.4.** Structures pour le fonctionnement de la maintenance

Même si la compagnie ou l'entreprise est dotée de structures permettant de gérer le personnel et de gérer les finances de la compagnie, la maintenance peut être pourvue d'un secrétariat permettant de gérer son propre personnel et ses finances (achat de consommables, etc...). Cette façon de faire dépend bien sûr de l'importance de la structure maintenance. Dans l'atelier d'exécution des tâches de maintenance se trouvent les équipes d'intervention qui peuvent être pluridisciplinaires (mécanique, électromécanique, hydraulique et pneumatique, etc...).

#### **1.4. Différentes politiques de maintenance en aéronautique**

##### ➤ **Entretien effectué dans la compagnie totalement**

###### **Avantages**

- Diminution du coût d'entretien
- Indépendance technique
- Souplesse de programmation
- Souplesse de modification

###### **Inconvénients**

- Investissement coûteux (matériels/humaines)
- Problèmes de Main d'œuvres
- Frais financier sur stock Entretien effectué dans la compagnie totalement

### *Exemple d'entretien*

- Entretien en ligne/moyen/grand (RG/GV)
- Révision moteur majeure
- Révision équipement majeure

### *Exemple de flotte*

- Flotte importante en nombre
- Flotte spécifique

## ➤ *Entretien effectué dans la compagnie partiellement*

### *Avantages*

- Investissement progressif et limité
- Gain de coût dans des parties très coûteuse
- Développement progressif d'activités

### *Inconvénients*

- Dépendance technique
- Pas de maîtrise du stock
- Manque de souplesse de programmation et modification
- Contrat d'entretien (Facturation)

### *Exemple d'entretien*

- Entretien en ligne/moyen/grand (RG/GV)
- Révision moteur mineure
- Révision équipement mineure

### *Exemple de flotte*

- Flotte moyenne en nombre
- Flotte non spécifique

## ➤ *Entretien sous-traité totalement*

### *Avantages*

- Pas investissement important
- Pas de problème de main d'œuvre
- Pas de frais financier sur stock

### *Inconvénients*

- Dépendance technique
- Pas de frais financier sur stock
- Manque de souplesse de programmation et modification
- Contrat d'entretien (Facturation)

### *Exemple d'entretien*

- Entretien en ligne (Dés fois sous-traité)

### *Exemple de flotte*

- Flotte petite en nombre
- Un nouveau type d'avion
- Un avion de transition en attendant un nouveau type d'avion (Leasing)

### 1.5. Aspects économiques

D'une manière générale le coût d'exploitation d'un avion est répartie de la façon suivante:

• Coût P N T = Salaire + Déplacement	}	14,86 %
• Coût P N C = Salaire + Déplacement		
• Coût Carburant = Facturation pétrolière		35,91 %
• Coût Vente = Agence de voyage + Publicité		6,67 %
• Coût d'entretien = ligne + moyen + grand		14,86 %
• Frais de structure = frais généraux + administration		6 %
• Frais au sol = facturation au sol		9,9 %
• Frais coque = Loyer annuel (leasing)		12,48 %

### 1.6. Moyens de diminution du coût d'entretien

#### 1.6.1. Coopération Technique

Plusieurs compagnies peuvent constituer un groupe de coopération technique exploitant des matériels de définition commune et se répartissant leur entretien par type de matériels, ce qui permet des économies d'outillages spécifiques et de matériels de rechanges.

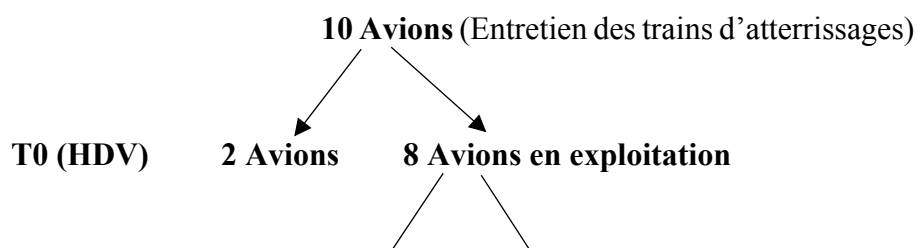
En Europe : **ATLAS** : Air France, Lufthansa, Alitalia, Sabena, Iberia

**KSSU** : KLM, Swissair, UTA

#### 1.6.2. Notion de Sondage

La compagnie exploite un bon nombre d'aéronef de même âge et de même type peut programmée la visite (Inspection) sur une partie de la flotte seulement et à partir de ce sondage décider de l'opportunité (Obligation) d'une opération d'entretien sur l'ensemble de la flotte.

**Exemple** : Sur une flotte de 10 avions, vérifier les trains d'atterrissages de 2 avions ayant atteint un HDV T0 (Sondage 20%). Si on ne constate pas de problème, on peut programmée sur 2 autres avions à T1 tels que  $T1 > T0$  et ainsi de suite. En cas d'anomalie (Problème), on étend la vérification sur l'ensemble de la flotte avec les actions correctives appropriées.



**Figure I.5.** Exemple d'application de notion de sondage en aéronautique

### **1.6.3. Entretien effectué dans la compagnie totalement**

Nous avons vu que la politique de faire l'entretien dans la compagnie totalement, diminue le coût d'entretien, en faisant des gains dans la facturation de l'entretien et les coûts de la main d'œuvre.

### **1.6.4. Entretien progressif**

L'entretien progressif permet d'éviter des temps d'immobilisation trop longs, et avec un nombre de main d'œuvre adéquat. Elle fait découper en morceau les visites les plus importantes et associer ces morceaux aux visites de rang inférieur.

### **1.7. Norme ATA-100**

Cette norme universellement utilisée, a été définie par AIR TRANSPORT ASSOCIATION OF AMERICA (ATA) en collaboration avec les constructeurs. Elle affecte à chaque partie d'un avion un code de six chiffres groupés deux par deux allant du général au particulier : les 2 premiers chiffres représentent. Un ensemble ou système principal (chapitre), les 2 suivants un sous-système (section) et les 2 derniers un élément particulier (unité /item). La dénomination est commune pour les différents acteurs de l'aéronautique tels que : l'ingénierie, la maintenance et l'entretien et les pilotes. Et ce pour tous les fabricants tels qu'Airbus ou Boeing. La 1<sup>ère</sup> parution date de 1956.

**XX – YY' – ZZ'**

**Exemple :** **26-00-00** -> Protection incendie (Système / circuit/chapitre)  
**26-20-00** -> Extincteur (Sous-Système / Sous-chapitre/Section)  
**26-22-00** -> Extincteur feu moteur (Sous-Section)  
**26-22-03** -> Bouteille extincteur feu moteur (Elément/Unité/Item)

ATA	Sous-ATA	Description
00		Introduction / Aircraft General
	00	General
05		Periodic Inspections
	00	General
	10	Time Limits
	20	Scheduled Maintenance Checks
	30	[As Required]
	40	[As Required]
50	Unscheduled Maintenance Checks	
06		Dimensions & Areas
07		Lifting & Shoring
	00	General
	10	JACKING
	20	SHORING
08		Leveling & Weeighing
	00	General
	10	Weighing & Balancing
20	Leveling	
09		Towing & Taxiing
	00	General
	10	Towing
	20	Taxiing
10		Parking, Mooring, Storage & Return To Service
	00	General
	10	Parking / Storage
	20	Mooring
	30	Return To Service
11		Placards & Marking
	00	General
	10	Exterior Colour Schemes & Markings
	20	Exterior Placards & Markings
	30	Interior Placards
12		Servicing Routine Maintenance
	00	General
	10	Replenishing
	20	Scheduled Servicing
	30	Unscheduled Servicing

18		Vibration & Noise Analysis (Helicopter Only)
	00	General
	10	Vibration Analysis
	20	Noise Analysis

<b>Airframe Systems</b>
-------------------------

20		Standard Practice Airframe
	00	General

21		Air Conditioning
	00	General
	10	Compression
	20	Distribution
	30	Pressurization Control
	40	Heating
	50	Cooling
	60	Temperature Control
	70	Moisture / Air Contaminant Control

22		Auto Flight
	00	General
	10	Autopilot
	20	Speed-Attitude Correction
	30	Auto Throttle
	40	System Monitor
	50	Aerodynamic Load Alleviating

23		Communications
	00	General
	10	Speech Communications
	15	SATCOM
	20	Data Transmission & Automatic Calling
	30	Passenger Address, Entertainment, & Comfort
	40	Interphone
	50	Audio Integrating
	60	Static Discharging
	70	Audio & Video Monitoring
	80	Integrated Automatic Tuning

24		Electrical Power
	00	General
	10	Generator Drive
	20	AC Generation
	30	DC Generation
	40	External Power
	50	AC Electrical Load Distribution
	60	DC Electrical Load Distribution
	70	Primary & Secondary Power

25		Equipment / Furnishings
	00	General
	10	Flight Compartment
	20	Passenger Compartment
	30	Buffet / Galley
	40	Lavatories
	50	Cargo Compartments
	60	Emergency
	70	Accessory Compartments
	80	Insulation

26		Fire Protection
	00	General
	10	Detection
	20	Extinguishing
	30	Explosion Suppression

27		Flight Control
	00	General
	10	Aileron & Tab
	20	Rudder & Tab
	30	Elevator & Tab
	40	Horizontal Stabilizer / Stabilator
	50	Flaps
	60	Spoiler, Drag Devices & Variable Aerodynamic Fairings
	70	Gust Lock & Damper
	80	Lift Augmenting

28		Fuel
	00	General
	10	Storage
	20	Distribution-Drain Valves
	30	Dump
	40	Indicating

29		Hydraulic Power
	00	General
	10	Main
	20	Auxiliary
	30	Indicating
30		Ice & rain Protection
	00	General
	10	Airfoil
	20	Air Intakes
	30	Pitot & Static
	40	Windows, Windshields, & Doors
	50	Antennas & Radomes
	60	Propellers / Rotors
	70	Water Lines
31		Indication / Recording System
	00	General
	10	Instrument & Control Panels
	20	Independent Instruments
	30	Recorders
	40	Central Computers
	50	Central Warning Systems
	60	Central Display Systems
70	Automatic Data Reporting Systems	
32		Landing Gear
	00	General
	10	Main Gear & Doors
	20	Nose Gear / Tail Gear & Doors
	30	Extension & Retraction
	40	Wheels & Brakes
	50	Steering
	60	Position & Warning , and Ground Safety Switch
70	Supplementary Gear – Skis, Floats	
33		Lights
	00	General
	10	Flight Compartment & Annunciator Panel
	20	Passenger Compartment
	30	Cargo & Service Compartments
	40	Exterior Lighting
	50	Emergency Lighting

34		Navigation
	00	General
	10	Flight Environment Data
	20	Attitude & Direction
	30	Landing & Taxiing Aids
	40	Independent Position Determining
	50	Dependent Position Determining
	60	Flight Management Computing

35		Oxygen
	00	General
	10	Crew
	20	Passenger
	30	Portable

36		Pneumatic
	00	General
	10	Distribution
	20	Indicating

37		Vacuum
	00	General
	10	Distribution
	20	Indicating

38		Water / Waste
	00	General
	10	Potable
	20	Wash
	30	Waste Disposal
	40	Air Supply

41		Water Ballast
	00	General
	10	Storage
	20	Dump
	30	Indicating

42		Integrated Modular Avionics
	00	General
	20	Core
	30	Network Components

44		Cabin Systems
	00	General
	10	Cabin Core System
	20	Inflight Entertainment System
	30	External Communication System
	40	Cabin Mass Memory System
	50	Cabin Monitoring System
	60	Miscellaneous Cabin System

45		Central Maintenance System (CMS)
	00	General
	05/19	CMS / Aircraft General
	20/44	CMS / Airframe Systems
	45	Central Maintenance System
	46/49	CMS / Airframe Systems
	50/59	CMS / Structures
	60/69	Propellers
	70/89	CMS / Power Plant

46		Information Systems
	00	General
	10	Airplane General Information Systems
	20	Flight Deck Information Systems
	30	Maintenance Information Systems
	40	Passenger Cabin Information Systems
	50	Miscellaneous Information Systems

47		Inert Gas System
	00	General
	10	Generation/Storage
	20	Distribution
	30	Control
	40	Indicating

49		Airborne Auxiliary Power (APU)
	00	General
	10	Power Plant
	20	Engine
	30	Engine Fuel & Control
	40	Ignition / Starting
	50	Air
	60	Engine Controls
	70	Indicating
	80	Exhaust
	90	Oil

Structures		
------------	--	--

50		Cargo and Accessory Compartments
	00	General
	10	Cargo Compartments
	20	Cargo Loading Systems
	30	Cargo Related Systems
	40	Unassigned
	50	Accessory Compartments
	60	Insulation

51		Standrad Practices & Structures general
	00	General
	10	Investigation, Cleanup & Aerodynamic Smoothness
	20	Processes
	30	Materials
	40	Fasteners
	50	Support of Airplane for Repair & Alignment Check Procedures
	60	Control-Surface Balancing
	70	Repairs
80	Electrical Bonding	

52		Doors
	00	General
	10	Passenger / Crew
	20	Emergency Exit
	30	Cargo
	40	Service
	50	Fixed Interior
	60	Entrance Stairs
	70	Monitoring & Operation & Warning
80	Landing Gear	

53		Fuselage
	00	General (10 through 90 Fuselage Sections)
	10	Main Frame
	20	Auxiliary Structure
	30	Plates-Skin
	40	Attach Fittings
50	Aerodynamic Fairings	

60	[As Required]
70	[As Required]
80	[As Required]
90	[As Required]

54		Nacelles / Pylons
	00	General
	10	Nacelle [As Required]
	20	Nacelle [As Required]
	30	Nacelle [As Required]
	40	Nacelle [As Required]
	50	[As Required]
	60	[As Required]
	70	[As Required]
	80	[As Required]

55		Stabilizers
	00	General
	10	Horizontal Stabilizer / Stabilator Or Canard
	20	Elevator
	30	Vertical Stabilizer
	40	Rudder

56		Windows
	00	General
	10	Flight Compartment
	20	Passenger Compartment
	30	Door
	40	Inspection & Observation

56		Windows
	00	General
	10	Flight Compartment
	20	Passenger Compartment
	30	Door
	40	Inspection & Observation

57		Wings
	00	General
	10	Center Wing
	20	Outer Wing
	30	Wing Tip
	40	Leading Edge & Leading Edge Devices
	50	Trailing Edge & Trailing Edge Devices
	60	Ailerons & Elevons
	70	Spoilers
	80	[As Required]
	90	Wing Folding System

**Propeller / Rotor**

60		Standard Practices-Propeller / Rotor
	00	General
61		Propellers / Propulsion
	00	General
	10	Propeller Assembly
	20	Controlling
	30	Braking
	40	Indicating
	50	Propulsor Duct
62		Rotors
	00	General
	10	Rotor Blades
	20	Rotor Head(S)
	30	Rotor Shaft(S) / Swashplate Assembly(les)
	40	Indicating
63		Rotor Drive(s)
	00	General
	10	Engine / Gearbox Couplings
	20	Gearbox(es)
	30	Mounts, Attachments
	40	Indicating
64		Tail Rotor
	00	General
	10	Rotor Blades
	20	Rotor Head
	30	[Unassigned]
	40	Indicating
65		Tail Rotor Drive
	00	General
	10	Shafts
	20	Gearboxes
	30	[Unassigned]
	40	Indicating

66		Folding Blades & Tail Pylon
	00	General
	10	Rotor Blades
	20	Tail Pylon
	30	Controls & Indicating

67		Rotors Flight Control
	00	General
	10	Rotor Control
	20	Anti-Torque Rotor Control (Yaw Control)
	30	Servo-Control System

Power plant		
-------------	--	--

70		STANDARD PRACTICES - ENGINE
	00	GENERAL

71		POWER PLANT - GENERAL
	00	GENERAL
	10	COWLING
	20	MOUNTS
	30	FIRESEALS AND SHROUDS
	40	ATTACH FITTINGS
	50	ELECTRICAL HARNESS
	60	ENGINE AIR INTAKES
	70	ENGINE DRAINS

72		ENGINE - TURBINE / TURBOPROP, DUCTED FAN / UNDUCTED FAN
	00	GENERAL
	10	REDUCTION GEAR AND SHAFT SECTION (TURBOPROP AND /OR FRONT MOUNTED DRIVEN PROPULSOR)
	20	AIR INLET SECTION
	30	COMPRESSOR SECTION
	40	COMBUSTION SECTION
	50	TURBINE SECTION
	60	ACCESSORY DRIVES
	70	BY-PASS SECTION
	80	PROPULSOR SECTION (REAR MOUNTED)

72(R)		ENGINE - RECIPROCATING
	00	GENERAL
	10	FRONT SECTION
	20	POWER SECTION
	30	CYLINDER SECTION
	40	SUPERCHARGER SECTION
	50	LUBRICATION

73		ENGINE - FUEL AND CONTROL
	00	GENERAL
	10	DISTRIBUTION
	20	CONTROLLING - GOVERNING
	30	INDICATING

74		IGNITION
	00	GENERAL
	10	ELECTRICAL POWER SUPPLY
	20	DISTRIBUTION
	30	SWITCHING

75		BLEED AIR
	00	GENERAL
	10	ENGINE ANTI-ICING
	20	ENGINE COOLING
	30	COMPRESSOR CONTROL
	40	INDICATING

76		ENGINE CONTROLS
	00	GENERAL
	10	POWER CONTROL
	20	EMERGENCY SHUTDOWN

77		ENGINE INDICATING
	00	GENERAL
	10	POWER
	20	TEMPERATURE
	30	ANALYZERS
	40	INTEGRATED ENGINE INSTRUMENT SYSTEMS

78		EXHAUST
	00	GENERAL
	10	COLLECTOR - NOZZLE
	20	NOISE SUPPRESSOR
	30	THRUST REVERSER
	40	SUPPLEMENTAL AIR

79		OIL
	00	GENERAL
	10	STORAGE (DRY SUMP)
	20	DISTRIBUTION
	30	INDICATING

80		STARTING
	00	GENERAL
	10	CRANKING

## CHAPITRE 2

### MAINTENANCE EN AERONAUTIQUE

#### 2.1. Introduction :

La maintenance en aéronautique est divisée en type de maintenance

- **Maintenance programmée** : Ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance des systèmes ou sous-système ou équipement. Elle permet d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation.

**Empêcher** ou **Eviter** la défaillance de se produire --> **Entretien préventif.**

- **Maintenance non programmée** : Ayant pour objectif de réparer la défaillance survenue pendant l'exploitation de l'avion.

**Réparer** ou **dépanner** la défaillance --> **Entretien curatif.**

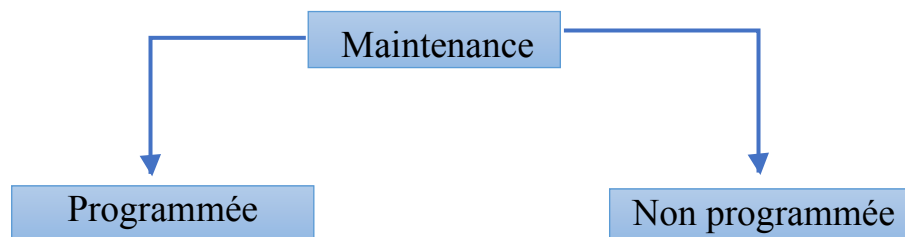


Figure 2.1 : Différent type de maintenance en aéronautique

#### 2.2. Maintenance programmée

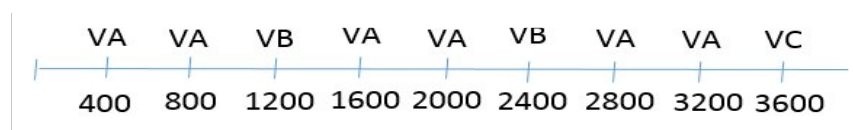
L'entretien des aéronefs doit être organisé en un temps cohérent de façon à minimiser les temps d'immobilisation. Il s'agit donc de grouper les opérations élémentaires d'entretien **d'importance** et **de périodicité comparables**. Ces groupes d'opérations sont appelés **VISITES**.

Le schéma classique d'entretien d'un avion de ligne long courrier est comme suit :

- **Visite Prévol (ou Transit)** ; Qui peut éventuellement être faite par l'équipage :  
Vérification des pleins d'huile, de l'état de gonflage des pneumatiques, des

freins et des amortisseurs, vérifications visuelles de l'absence des fuites, etc....

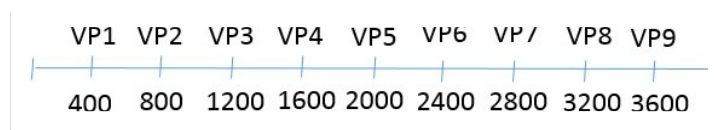
- **Visite Journalière (VJ)** : Comporte outre les opérations de la visite prévol, d'autres vérifications portant par exemple sur l'état général du fuselage et de la voilure, des entrées d'air moteurs, etc... La tendance est à espacer pour ce type de visite est de 3 jours voir plus.
  - **Visite A (VA)** : Toutes les 300 à 400 HDV soit tous les mois environ : inspection visuelle plus détaillées des systèmes et composants de la structure, par exemple le train d'atterrissage, la surface des ailes, les moteurs et leurs fixations, les prises d'air, le mécanisme des parties mobiles de la voilure, les portes, l'oxygène, les systèmes de détection de fumée etc .... Durée est de quelque heures.
  - **Visite B (VB)** : Toutes les 1000 à 1200 HDV ou 3 mois environ. On ajoute à la visite A des inspections plus poussée pour vérifier le fonctionnement des systèmes. Durée 2 à 3 jours
  - **Visite C (VC)** : Toutes les 3600 à 4000 HDV ou chaque année environ. Des inspections supplémentaires entraînant des démontages pour vérifier des parties d'accès difficiles, Durée environ 1 semaine.
  - **Visite D (VD ou RG/GV)** : Tous les 5 à 7 ans, Une vérification complète de l'avion est effectuée, avec examen minutieux de tous les systèmes et de toute la structure. La cellule est pratiquement remise à neuf, Durée environ 1 mois
- **Exemple** : Si on a un programme d'entretien programmée pour un type d'avion est le suivant : VA=400HDV, VB=1200 HDV, VC = 3600 HDV (1an), VD= 18000 HDV. Le schéma classique des visites programmée est le suivant :



Dans ce schéma, toute visite inclut l'exécution des opérations de rang inférieur. La durée d'immobilisation varie de quelques heures pour une visite VA à plus d'un mois pour une visite VD.

Afin d'éviter des temps d'immobilisation trop longs, et avec un nombre de main d'œuvre adéquat, on peut découper en morceau les visites les plus importantes et associer ces morceaux aux visites de rang inférieur. C'est l'**ENTRETIEN PROGRESSIF**.

Le nouveau schéma des visites de l'entretien progressif sera comme suit :



$$\begin{aligned}
 &VP1=VA+b1+C1 \quad , \quad VP2=VA+b2+C2 \quad , \quad VP3=VA+b3+C3 \quad , \quad VP4=VA+b1+C4 \\
 &VP5=VA+b2+C5 \quad , \quad VP6=VA+b3+C6 \quad , \quad VP7=VA+b1+C7 \quad , \quad VP8=VA+b2+C8 \\
 &VP9=VA+b3+C9
 \end{aligned}$$

- **Entretien programmée B737-800**

Les Compagnies aériennes ainsi que les fabricants d'avions ont démontré grâce au développement des programmes d'entretien des nouveaux avions, qu'il était possible d'améliorer ces programmes grâce à l'utilisation de l'approche moderne de la maintenance sophistiquée.

- **Daily Check** : Tous les jours / Lieu : Possible en extérieur / Employés : 1
- **Weekly Check** : Toutes les semaines / Lieu : Possible en extérieur.
- **Check A** : Toutes les 500 HDV / Lieu : Possible en extérieur.  
Nombre de check A =8 / Durée : 1 nuit
- **Check C** : Toutes les 12 – 18 mois environ 3200 HDV / Lieu : en Hangar de maintenance avec installation spécifique.  
Nombre de check C =8
- **Check D** :\_ Après les 16 checks A/C / Lieu : en Hangar de maintenance avec installation spécifique / Durée 30 à 60 jours.

### **2.3. Maintenance non programmée**

- Tout incident ou anomalie constatée en vol par l'équipage fait l'objet d'un compte rendu matériel (CRM) dont l'analyse, faite à chaque escale, permet de déterminer les actions correctives adaptées (action immédiate, report jusqu'au retour à la base principale d'entretien ou report à la prochaine Visite programmée.
- Elle liste les inspections devant être effectuées après un incident (Atterrissage dur, dépassement de vitesse trains sortis, foudroiement etc.) ou après un vol dans des conditions anormales (Vol dans la grêle ou cendre volcanique etc.). Toutes ces inspections sont décrites en chapitre 05-50 de l'AMM.
- Ces inspections sont, dans la plupart des cas, nécessaires pour pouvoir répondre au rapport d'incident notifié par l'équipage. Le constructeur peut recommander certains travaux grâce à la connaissance qu'il acquiert, des problèmes rencontrés en service sur ses produits, étant régulièrement informé par les utilisateurs. Des modifications, des vérifications ou des révisions sont ainsi recommandées dans des documents appelés **SERVICE BULLETIN – S B –**

**Définition** : Les SBs sont souvent rédigés par le fabricant d'avion ; ils sont utilisés pour expliquer aux opérateurs d'avions comment faire une modification ou une inspection d'un système donné. Ces modifications ou inspections ont pour but d'améliorer la sécurité ou le fonctionnement de l'avion. On trouve également dans un SB l'explication détaillée du travail à faire. Pour cela on indique la liste des tâches AMM à effectuer. Certains SBs sont obligatoires et liés à une AD (voir plus bas) d'autres sont seulement recommandés.

- Certaines de ces recommandations, nécessaires au maintien du **niveau de sécurité réglementaire** sont rendues obligatoires par les services officiels sous le nom de **CONSIGNES DE NAVIGABILITE – CN /AD-** Airworthiness Directive. Elles consistent souvent en inspections de zones suspectes, en réparation ou changement de pièces douteuses, à effectuer dans les délais variables, parfois immédiatement, Si la consigne n'est pas appliquée dans les délais requis, l'aéronef est interdit de vol.

**Définition** : Une AD (Airworthiness Directive / Consigne de navigabilité) est rédigée par les autorités de l'aviation civile. Elle permet de corriger un problème lié à la sécurité présent sur un équipement d'un avion. Les ADs sont obligatoires. Les opérateurs d'avions concernés par une AD ont un laps de temps pour effectuer les actions correctives imposées par l'AD.

## **2.4. Différents modes d'entretien**

Les différents éléments (ensembles, sous-ensembles, équipements, pièces, etc, ...) d'un aéronef peuvent faire l'objet de trois modes d'entretien principaux :

- Entretien avec temps limite
- Entretien selon vérification de l'état
- Entretien avec surveillance du comportement

Ces modes, définis ci-après, se distinguent essentiellement par la manière dont est déclenché le remplacement de l'élément par un élément en bon état de fonctionnement (en anglais serviceable).

Dans les deux premiers modes, on s'efforce de remplacer l'élément avant sa défaillance, tandis que dans le dernier, on ne le remplace qu'après constatation de la défaillance.

### **2.4.1. Entretien avec temps limite (Hard Time : HT)**

Dire qu'un élément fait l'objet d'un entretien avec temps limite signifie que cet élément devra être déposé avant d'atteindre une limitation en temps heures de vol ou de fonctionnement, ou temps de calendrier, ou nombre de cycles, etc....

- Soit pour subir certains travaux qui permettront de le libérer pour une nouvelle période (potentiel de révision générale ou partielle).
- Soit pour être retiré du service (limite de vie).

**Définition** : Intervalle de temps maximum fixé à l'issue duquel un élément doit être réparé ou réformer.

### **Exemples**

- Disque de compresseur ou de turbine : Les disques sont soumis à des contraintes mécaniques et thermiques. Cette limite est exprimée en cycle de fonctionnement ou en heure de vol de fonctionnement (HDV) ou encore en temps calendaire.
- Tuyauterie souple : Des liquides corrosifs y circulent sous pression fuite à éviter. Elles ne sont pas réparables, on les remplace systématiquement au bout d'une durée fixe exprimer en temps calendaire.
- Structure de l'avion : La structure elle-même de l'aéronef est certifiée pour une durée d'utilisation déterminer exprimer en temps calendaire.

#### **2.4.2. Entretien selon vérification de l'état (On Condition : OC)**

La méthode des temps limites présentait l'inconvénient majeur de rejeter ou de soumettre à révision des éléments qui auraient pu rester utilisables un certain temps. Une meilleure connaissance des paramètres significatifs de l'usure (ex : nombre et longueur de criques pour la structure, température d'un moteur, etc) et de leurs loi d'évolution, associée à la progression des possibilités de détection ou de mesure de ces paramètres (bancs d'essais, moyens non destructifs tels qu'endoscopie, courant de Foucault..., meilleure accessibilité des éléments, etc), a permis d'en venir à un mode d'entretien plus évolué, dit **selon vérification de l'état** ( ou selon état) : à intervalles fixes, l'élément fait l'objet d'une vérification des paramètres significatifs de son état (cette vérification ne nécessite pas forcément le démontage de l'élément). Si la vérification conclut au bon état de l'élément, c'est-à-dire si les paramètres significatifs restent à l'intérieur d'un domaine prédéterminé, l'utilisation de l'élément peut se poursuivre jusqu'à la prochaine inspection programmée. Dans le cas contraire, l'élément est remis en bon état ou réformé. Par rapport à la méthode des temps limites, on économise donc des actions correctives inutiles.

**Définition** : A des intervalles de temps maximum fixé les équipements concernés sont inspectées selon des méthodes appropriées (CND) et selon les

résultats des inspections un élément peut être laissé en état, révisé partiellement ou totalement ou réformé.

**Exemples :**

- Vérification de l'état et des gonflages des pneumatiques.
- Inspection des criques ou de fissures et de corrosion dans la structure à un intervalle de temps régulier de 1 à 7 ans selon la sensibilité de la zone.

**2.4.3. Entretien avec surveillance du comportement (Condition Monitoring : CM)**

La méthode dite "**Surveillance du comportement**" se rattache aux notions de redondance et de tolérances en courrier c'est-à-dire bon nombre de défaillances sont sans répercussion négative immédiate sur la sécurité du vol, d'où la possibilité de laisser l'aéronef décoller ou poursuivre son vol avec un certain nombre d'éléments défaillants. Les éléments dont la défaillance n'affecte pas la sécurité du vol peuvent se passer d'entretien préventif : les interventions programmées (remplacement, révision ou inspection) sont supprimées et l'élément n'est réparé ou remplacé qu'après sa défaillance.

**Définition :** L'inspection de l'élément et l'action corrective ne sont entreprises qu'après la constatation de la défaillance de l'élément.

**Exemples :**

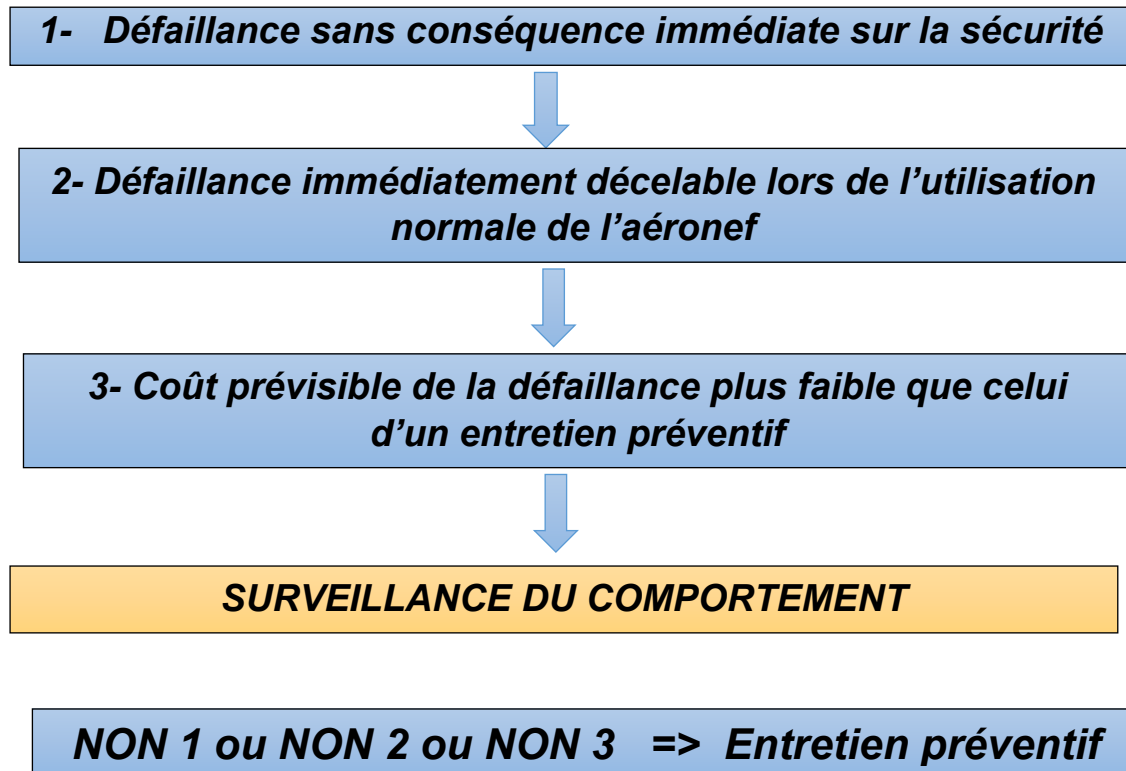
- Pilote automatique : Un peut être inopérant. L'équipage étant immédiatement averti. En cas de non fonctionnement, le vol peut être poursuivi au mode manuel. On peut attendre la défaillance pour lancer une opération d'entretien.
- Moteur : La surveillance en vol des paramètres de fonctionnement (T, P, Vibration, Csp, ...) permet d'intervenir quand ceci se dégrade au-delà d'une certaine valeur ou intervalle de fonctionnement.

**2.5. Choix du mode d'entretien**

Chaque élément, tel que défini par la norme ATA-100, est soumis à une analyse de ses modes de défaillance, des conséquences techniques et de sa technologie, des exigences réglementaires, de l'expérience acquise sur des matériels similaires,

d'essais de fatigue, d'analyse de sécurité et de fiabilité, etc...Toutes ses études conduisent à définir le mode d'entretien le plus efficace.

Par exemple, le concept de surveillance du comportement s'applique aux élément qui remplissent les trois conditions suivantes :



L'entretien selon état peut s'appliquer aux éléments dont les caractéristiques et de fonctionnement sont mesurable et ont une évaluation prévisible.

Les temps limites s'appliquent aux éléments dont les caractéristiques d'état et de fonctionnement sont difficilement mesurable et en particulier à ceux dont la défaillance compromettrait la sécurité.

## **2.6. Différents types ou formes de maintenance**

Les diverses options pouvant être mises en œuvre par la maintenance relèvent de deux principes fondamentaux :

- La maintenance **CORRECTIVE**, qui correspond à une attitude passive d'attente de la panne ou de l'incident l'action consiste alors à éliminer le défaut, grâce à dépannage ou une réparation.
- La maintenance **PREVENTIVE** qui correspond à la volonté de maîtriser la dégradation d'un équipement afin d'éviter d'être pris au dépourvu par la panne.

Il existe alors deux formes de maintenance préventive :

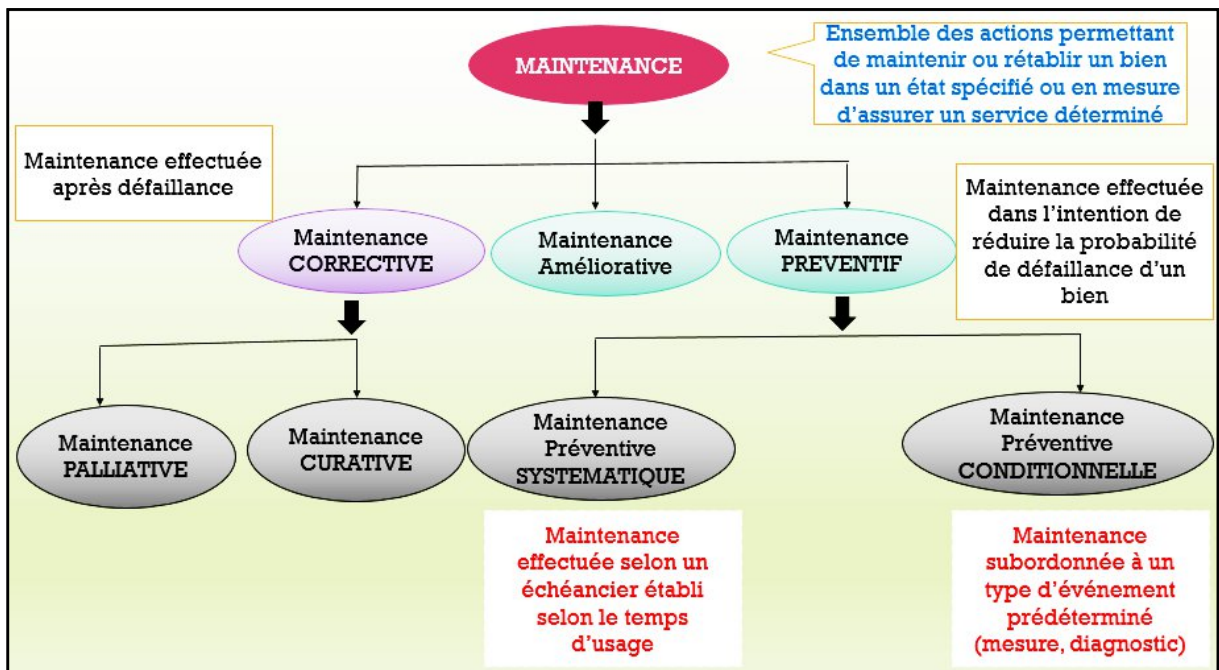
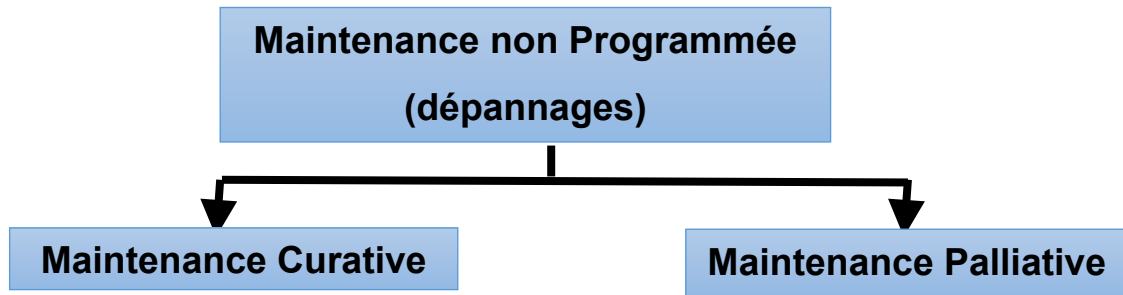


Figure 2.2 : Différents types de maintenance

### 2.6.1. Maintenance corrective

Elle est définie comme étant une maintenance effectuée après défaillance. Elle est caractérisée par son caractère aléatoire et requiert des ressources humaines compétentes et des ressources matérielles (pièces de rechange et outillage spécifique) disponible sur place. La maintenance corrective débouche sur deux types d'interventions. Le 1<sup>er</sup> type est à caractère provisoire, ce qui caractérise la **maintenance palliative**. Le 2<sup>ème</sup> type est à caractère définitif, ce qui caractérise la **maintenance curative**.



- **Maintenance Palliative** : La maintenance corrective palliative regroupe les activités de maintenance corrective permettant à un bien d'accomplir **PROVISOIREMENT** tout ou une partie d'une fonction requise. Ces activités de type de dépannage qui présentent un **caractère provisoire** devront être suivies d'activités Curatives.

- **Maintenance Palliative** : La maintenance corrective curative regroupe les activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Ces activités de type de réparation, modification ou amélioration doivent présenter un **caractère Permanent ou définitif**.

### 2.6.2. Maintenance préventive

La maintenance préventive est définie quant à elle comme une maintenance effectuée dans le but de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unité d'usage c'est **la maintenance systématique** ou de critères prédéterminés signifiants de l'état de dégradation du bien ou de service c'est la **maintenance conditionnelle**.

- **Maintenance préventive systématique** : C'est maintenance effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage. La périodicité des remplacements est déterminée selon deux méthodes : La 1<sup>ère</sup> est de type age suggère de remplacer l'équipement ou un élément après unités de bon fonctionnement (hdv, cycle, temps, calendrier, ...). La 2<sup>ème</sup> est de type bloc suggère de remplacer l'équipement après une période

prédéterminée de temps T, 2T etc... indépendamment de l'âge et de l'état du composant.

- **Maintenance préventive conditionnelle** : C'est une maintenance subordonnée à un type d'évènement prédéterminé. Divers outils comme l'analyse de la vibration et l'analyse d'huile permettent de détecter les signes d'usure ou de dégradation de l'équipement. Ceci s'effectue en mesurant à chaque inspection, la valeur d'un paramètre de contrôle tel que l'amplitude de déplacement, de vitesse ou d'accélération, les vibrations, le degré d'acidité ou la teneur de particule solide dans l'huile. L'action ne se déclenche que lorsque le paramètre de contrôle dépasse un seuil déterminé empiriquement, fixé par le constructeur ou par les normes de santé et de sécurité de travail.

### **2.6.3. Maintenance améliorative**

Il va sans dire qu'une réduction du taux de panne  $\lambda(t)$  entraîne une amélioration de la fonction de fiabilité  $R(t)$ . C'est dans cette optique que la maintenance améliorative a été instauré. La maintenance préventive avec toutes ses variantes, va en revanche tenter de ramener le taux de panne à son niveau le plus bas en remplaçant la composante usée sans améliorer les caractéristiques intrinsèques de l'équipement

**$\Lambda$  = Taux de défaillance**

$\lambda$  = nombre de pannes (défaillants ou défaillances) /durée d'usage

MTBF = Mean Time Between Faillure (Temps entre deux pannes confirmées)

**MTFB= 1 /  $\lambda$**

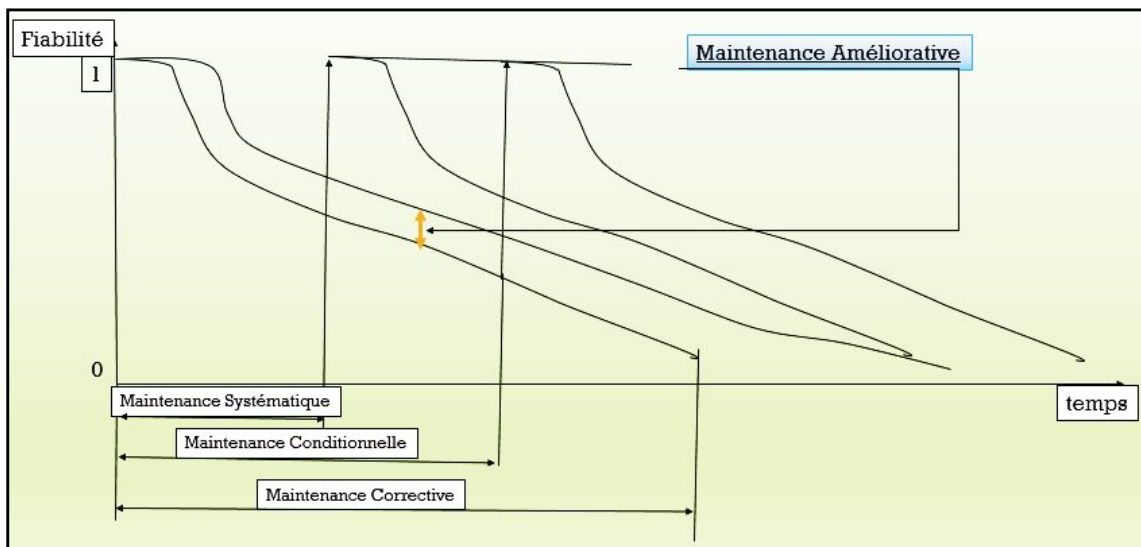


Figure 2.3 : Relation entre la maintenance et la Fiabilité

## 2.7. La documentation aéronautique

Comme expliqué plus haut, l'ATA a standardisé la documentation aéronautique. Elle comporte deux familles principales : la documentation de maintenance et la documentation opérationnelle. Les documents suivants sont donc communs à tous les fabricants d'avions. On ne trouvera ici que la documentation la plus utilisée.

### - **AMM (Airplane Maintenance Manual / Manuel de maintenance Avion)**

L'AMM contient toutes les informations basiques pour la maintenance et la réparation d'un avion. Il commence par un descriptif de chaque système et sous-système, ce qui permet de comprendre son fonctionnement. On trouve ensuite différentes tâches qui vont expliquer comment démonter une pièce, ajuster une autre pièce, remplir le système hydraulique, faire un test fonctionnel, etc....

- Dépose/Pose des composants
- Entretien
- Ajustement/Test
- Inspection/Contrôle
- Nettoyage/peinture
- Réparation

L'AMM est mis à jour plusieurs fois par an. Ce document est propre à chaque famille d'avions.

- **IPC (Illustrated Parts Catalog / Catalogue de pièces illustré)**

L'IPC est réalisé par le constructeur d'avion. Ce manuel contient toute la nomenclature de l'avion. Il peut être utilisé selon le besoin de la Compagnie Aérienne. Ce manuel contient toutes les pièces incorporées dans un avion. Il fournit notamment un éclaté du système, les numéros de pièces, le nom du vendeur, l'interchangeabilité entre pièces, et enfin si des anciennes pièces peuvent être montées sur avion ou non.

L'IPC est mis à jour plusieurs fois par an. Il est spécifique à chaque avion, mais peut être commun à une famille d'avions d'une même Compagnie Aérienne.

- **SRM (Structural Repair Manual / Manuel de réparation structurelle)**

Le SRM est le manuel qui permet de faire des réparations structurelles sur un avion. Il permet de dire si un élément de la structure est dans la tolérance pour être réparé ou non. Il donne également les dimensions du « patch » à utiliser pour la réparation ; on y trouve aussi le détail de la réparation à effectuer.

Le SRM est le plus souvent mis à jour par opportunité. Ce document est commun par famille d'avions.

- **WDM (Wiring Diagram Manual / Manuel du câblage avion)**

L'AWM est l'équivalent de l'IPC mais cette fois si pour le câblage de l'avion. On trouve dans l'WDM tout le cheminement des câbles de l'avion, leurs raccordements ainsi que toutes leurs fixations mécaniques.

- **MPD (Maintenance Planning Data documents / Document de planning de maintenance)**

Le MPD définit les tâches pour chaque type d'inspection de maintenance programmée. Les compagnies aériennes utilisent le MPD pour faire des cartes de tâches, Le technicien l'utilise durant les inspections de maintenance programmée. Le MPD est le document le plus complet et le plus à jour en vue de l'entretien programmé d'un avion en service.

Suivant le type d'avion concerné, on trouve deux grandes familles de tâches de maintenance dans le MPD :

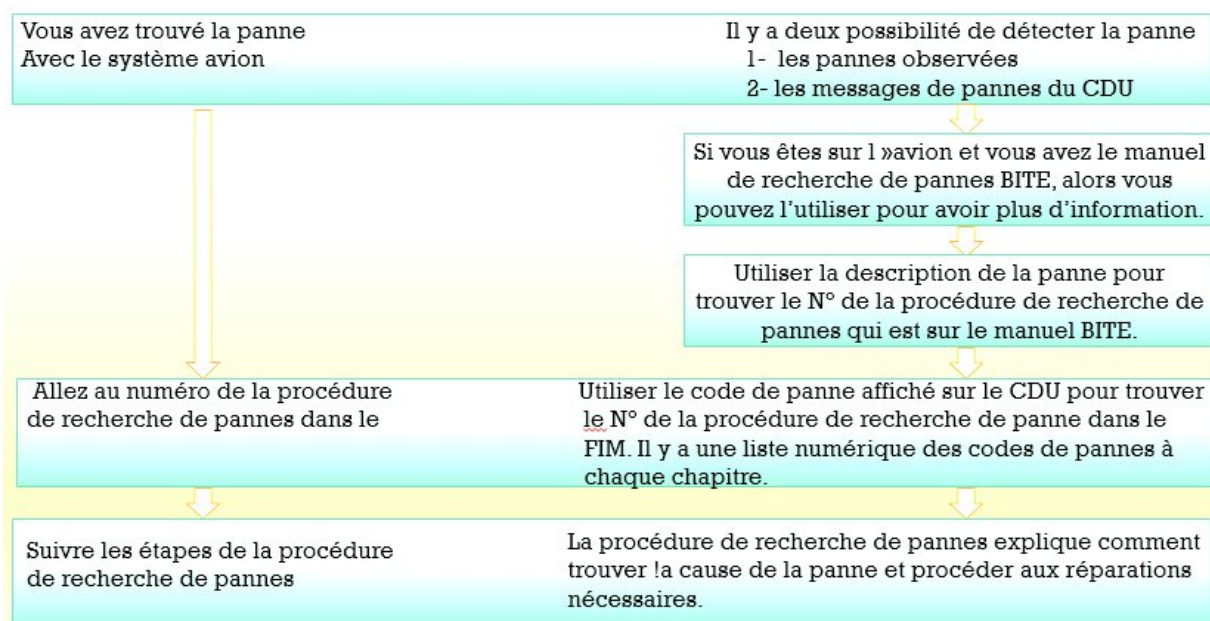
- Les tâches exprimées en heure vol, nombre de cycles et calendaires.
- Les Check qui constituent les visites de type « A » ou « C » définies par le fabricant.

- **SSM (System Schematics manual/Manuel des schémas de système)**

Le SSM apporte à l'utilisateur une compréhension du fonctionnement du système ou du sous-système et l'aide dans la procédure d'isolation de la panne.

- **Bite Manual**

Le manuel BITE donne plus d'information sur les pannes observées par l'équipage. Il facilite l'aboutissement au numéro de la procédure de recherches de pannes du FIM (FIM TASK) qui correspond à la panne observée.



- **FIM (Fault Isolation Manual/Manuel d'isolation de la panne)**

Le FIM est utilisé par l'équipe de maintenance pour isoler et réparer les pannes d'avions. L'isolation de la panne nécessite le numéro de la procédure de recherche de pannes du FIM (FIM TASK). Pour cela on utilise les données du FIM avec celles du CDU de l'avion afin d'identifier le numéro correct de cette dernière.

### **CONDITIONS ASSUMÉES AU DÉBUT DE LA PROCÉDURE**

- Générateur électrique extérieur allumer
- Générateur hydraulique et pneumatique éteint
- Moteur arrêté
- Circuits du disjoncteur du système éteints

### **LES CAUSES POSSIBLES**

La liste des causes possibles (du plus probables au moins probables)

### **PARAGRAPHE DE L'ÉVALUATION INITIALE**

Le but du paragraphe de l'évaluation initiale est de savoir si la panne est active.

- Si la panne n'est pas active alors la procédure ne peut pas isoler la panne et le paragraphe de l'évaluation initiale donne une panne **INTERMITTENTE**.
- Utiliser votre jugement et votre compétence personnelle pour décider de quelle procédure de maintenance à suivre. Ensuite surveiller l'avion pour savoir si la panne risque de se produire de nouveau sur les vols ultérieurs.

### **PROCÉDURE DE RECHERCHE DE PANNES**

Faites les étapes de énoncées la procédure de recherche de panne dans l'ordre prescrit.

Les énoncés « Si.....alors ..... » vous guiderons toute au long du chemin de votre dépannage.

## **Conclusion**

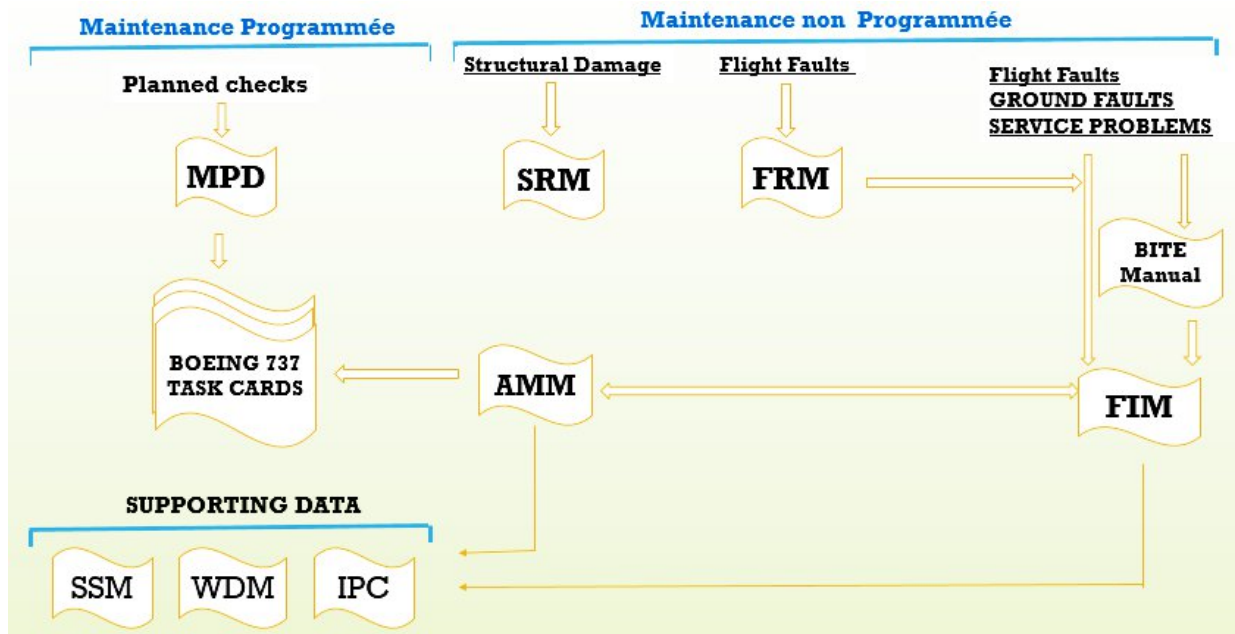


Figure 2.4 : Les documents aéronautique

## CHAPITRE 3

### RECHERCHE DE PANNES

C'est l'ensemble des opérations non programmée ayant pour objectif de remédier (corriger) les avaries ou les anomalies survenues en fonctionnement, En d'autres termes, c'est la remise en état de l'avion après détection d'une défaillance.

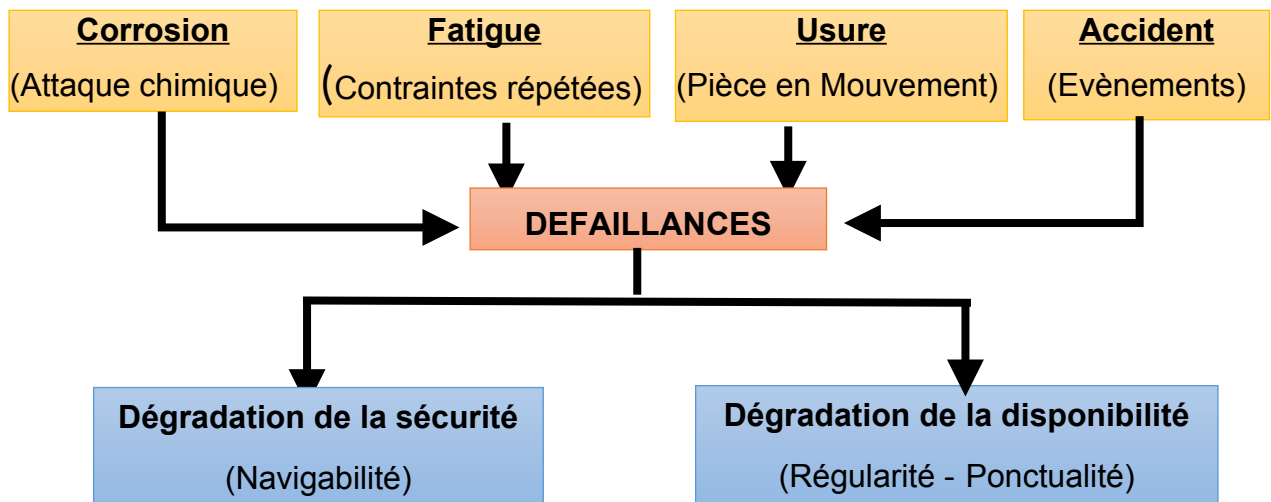


Figure 3.1 : Causes des défaillances

#### 3.1. Démarches de dépannage

- 1)- Plainte équipage : Pannes observées par l'équipage (CRM)/Messages de pannes (CDU)
- 2)- Dépannage : (Recherche de pannes) ---> FIM manuel / TSM manuel
- 3)- Dépose/Pose ---> AMM manuel
- 4)- Test de bon fonctionnement ---> AMM manuel
- 5)- Restitution de l'avion à l'exploitation
- 6)- Rédiger le rapport d'intervention

#### 3.2. Causes des déposes injustifiées dans les compagnies aériennes

- Compétence insuffisante du personnel de piste
- Résultats du test sont incorrects

- Inefficacité des dispositifs automatiques de recherche de pannes qui fournissent des informations incomplètes ou ambigu.
- Inefficacité du support de personnel de piste (documentation, manuels, historiques, ...)
- Le personnel de piste a parfois trop confiance dans son savoir-faire.
- Non suivi des procédures de dépannage déjà établie dans les manuels FIM (Fault Isolation Manual) et TSM (Trouble Shooting Manual).

### **3.3. Classes des pannes :**

- ***Pannes Classe 1*** : Ils ont une conséquence opérationnelle pour la poursuite du vol (fin de la mission). Elles sont portées à la connaissance de l'équipage elles nécessitent obligatoirement une action corrective de l'équipage. L'action corrective est immédiate. On dit que l'avion est **NO GO**.
- ***Pannes Classe 2*** : Ils n'ont pas de conséquences opérationnelles sur le vol en cours, Le vol peut être poursuivi mais avec des précautions (IF). Elles sont portées à la connaissance de l'équipage elles ne nécessitent pas une action corrective de l'équipage. On dit que l'avion est **GO IF** c-à-d que l'action corrective est reportée à la limite jusqu'au retour à la base.
- ***Pannes Classe 3***: Ils n'ont pas de conséquences opérationnelle sur le vol en cours et les prochains vol car elle n'affecte en rien la sécurité et la disponibilité de l'avion. Elles peuvent être jamais réparées si ce n'est pour des considérations économiques et de disponibilité de l'équipement. On dit que l'avion est **GO** sans condition.

### **3.4. Classes des alarmes**

- **Niveau 3** : Configuration secours. Une action corrective doit être effectuée immédiatement par l'équipage (alarme visuelle rouge + sonore répétitive).
- **Niveau 2** : Configuration anormale, L'action corrective peut être différée (alarme visuelle rouge + sonore monocoup).

- **Niveau 1** : Alarme liée principalement à la perte de redondance ou à la dégradation d'un système et qui ne requiert qu'un contrôle de l'équipage (alarme visuelle ambre)
- **Niveau 0** : Information de configuration ne nécessitant aucune action de l'équipage (alarme visuelle bleue/verte/blanche).

**N.B** : Ordre de priorité des alarmes niveau 3

- Décrochage
- Feu moteur
- Feu APU
- Baisse pression d'huile
- Altitude cabine excessive
- Fumée
- Double panne hydraulique ...

### 3.5. Les méthodes de dépannage

#### 3.5.1. Méthode globale (Méthode aléatoire)

Dans un système contenant trois éléments ou équipements comme suit :



La méthode globale consiste à remplacer tous les éléments du système ou sous-système incriminé (infecté).

**Avantages** : - Rapide

- Facile

- Sauvegarder la disponibilité de l'avion (Ponctualité / Régularité)

**Inconvénients** : - Stock couteux (Nécessité d'avoir au magasin tous les éléments de la fonction incriminée.

- Beaucoup de déposes injustifiées.

- Diminution de la fiabilité dû aux manipulations excessifs (Dépose/Pose)

- Système ou équipement dont le dépannage nécessite un temps de dépannage important

### **3.5.2. Méthode progressive (Méthode aléatoire)**

Cette méthode consiste à remplacer successivement les équipements de la fonction incriminée ou infectée et ceux sans une analyse approfondie. Une fois l'équipement remplacé, on procède à un essai qui permet de vérifier si le fonctionnement est rétabli ou restauré. Dans le cas contraire, on remonte l'ancien équipement et on procède au changement du suivant, jusqu'au dépannage complet ou totale de la fonction ou du système.

**Avantages** : - 90% des pannes peuvent être résolu par ce processus, qui fait intervenir une analyse simple.

**Inconvénients** : - Le temps à louer à la recherche de panne  
- Beaucoup de déposes injustifiées.  
- Diminution de la fiabilité de l'équipement dû aux manipulations excessifs (Dépose/Pose)

**Remarque** : Cette méthode permet d'agir en priorité sur les causes les plus probables (Historiques, savoir-faire ou l'expérience du technicien.

### **3.5.3. Méthode analytique (TSM manuel / FIM manuel)**

Cette méthode permet d'affiner la méthode progressive (méthode par exclusion) et d'incriminer à coup sûr sur l'élément en cause. Cette méthode nécessite des spécialistes ayant une bonne connaissance du système. La démarche à suivre est de faire la liste de tous les causes possibles et construire l'arbre de défaillance qui permettra d'éliminer les causes par la prise en considération des informations sur avion (alarme, indication, observation équipage , ....).

C'est la méthode du constructeur qui sont traduit dans les manuels de recherche de pannes FIM / TSM et qui sont établies pendant la conception du système ou sous-système grâce à l'analyse ou l'étude AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance leurs effets et criticités).

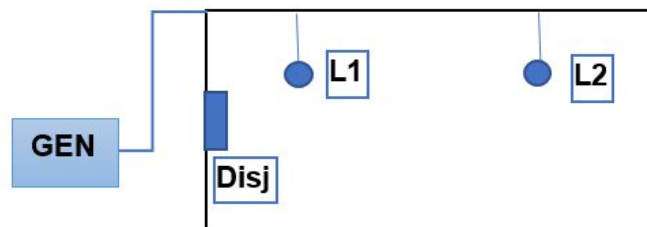
### 3.6. Analyse des modes de défaillance leurs effets et criticités

**But et objectifs** : C'est une analyse à partir des événements élémentaires qui est utilisée, pour évaluer l'équipement et déterminer l'effet sur l'aéronef de chacun des modes de pannes possibles. Cette analyse évolue et identifie les modes de pannes cachées et les causes probables ainsi que les pannes ayant des conséquences importantes.

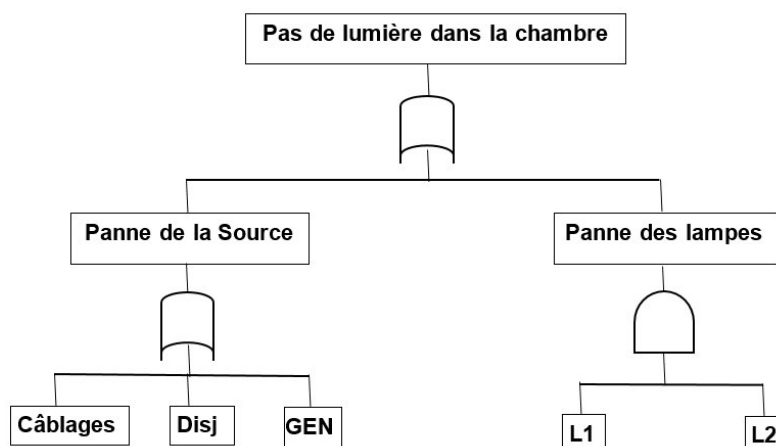
#### 3.6.1. Principe de réalisation d'une étude par AMDEC

- 1- Définition du système, but de la fonction ou du système et les éléments constituant la fonction.
- 2- Commencer par un événement redouté
- 3- Décomposer l'événement élémentaire en événement intermédiaire.
- 4- S'arrêter quand la décomposition s'avère impossible

**Exemple** : l'événement redouté est " **Pas de lumière dans la chambre**".



#### Création de l'arbre de défaillance



### 3.7. Analyse des pannes

Les pannes coûtent cher, il est intéressant de bien les étudier afin de les régler. Par conséquent, il faut mettre en place des moyens et des méthodes permettant de trouver les vraies causes.

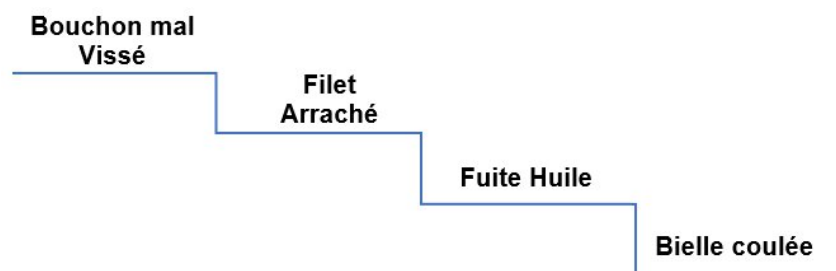
#### 3.7.1. Définition de la panne

Il y a panne dès qu'un défaut apparaît. C'est un écart entre ce qui devrait être et ce qui est. Mais en fait ce que l'on a constaté n'est qu'un symptôme.

Souvent, les dépanneurs cherchent à supprimer la panne sans chercher les causes premières. Mais si on veut réellement que la panne ne se produise plus, il faut remonter à la cause première, d'où la nécessité d'établir la chaîne des causes.

**Exemple** : On constate que l'on a coulé une bielle en roulant, donc il y a échauffement parce qu'il n'y a pas d'huile de refroidissement.

**Cause première** : Bouchon de vidange qui aurait été mal vissé.



Quoi ?	<ul style="list-style-type: none"><li>- Quel est le défaut constaté (Symptômes)</li><li>- Quel autre défaut aurait-on pu avoir</li></ul>
Où ?	<ul style="list-style-type: none"><li>- Où le défaut apparaît-il</li><li>- Où n'apparaît-il pas</li></ul>
Quand ?	<ul style="list-style-type: none"><li>- Quand le défaut est-il apparu pour la 1<sup>ère</sup> fois</li><li>- Quand est-il apparu</li><li>- Quand n'apparaît-il pas</li></ul>
Combien ?	<ul style="list-style-type: none"><li>- Le défaut est-il périodique. Si oui Quel est sa fréquence.</li><li>- Quelle est l'importance du défaut</li><li>- Quel est sa tendance</li><li>- Combien cela coûte sa réparation</li></ul>
Comment ?	<ul style="list-style-type: none"><li>- Quelles circonstances sont précédées ou accompagnées l'apparition du défaut.</li></ul>

### 3.8. Définition de la sécurité

Le principe général retenu pour définir les objectives de sécurité, est qu'il doit exister une relation inverse entre la perte d'une fonction d'un système (conduisant à une condition de panne sérieuse) et le degré de gravité ou le risque qui en découle pour l'avion et ses passagers.

	Qualitatif	Quantitatif
<b>Probable</b>	Peut survenir une ou plusieurs fois au cours de la vie opérationnelle de chaque avion	$> 10^{-5}$
<b>Improbable (Rare)</b>	Non susceptible de se produire sur chaque avion, mais peut survenir plusieurs fois considérant la vie opérationnelle totale des avions	$10^{-5}$ à $10^{-7}$
<b>Extrêmement Rare</b>	Non susceptible de se produire considérant la vie opérationnelle totales de tous les avions du même type, mais néanmoins doit être considéré comme possible.	$10^{-7}$ à $10^{-9}$
<b>Extrêmement Improbable</b>	Si extrêmement rare qu'il n'a pas à être considéré comme pouvant se produire	$< 10^{-9}$

**Définition de la sécurité** : Le principe général retenu pour définir les objectives de sécurité, est qu'il doit exister une relation inverse entre la perte d'une fonction d'un système (conduisant à une condition de panne sérieuse) et le degré de gravité ou le risque qui en découle pour l'avion et ses passagers.

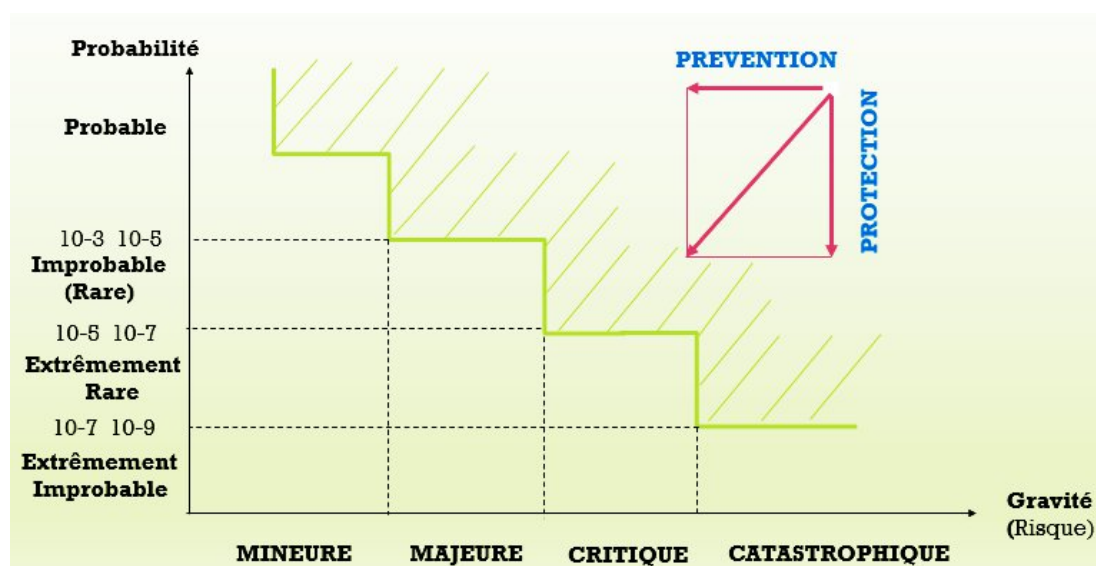
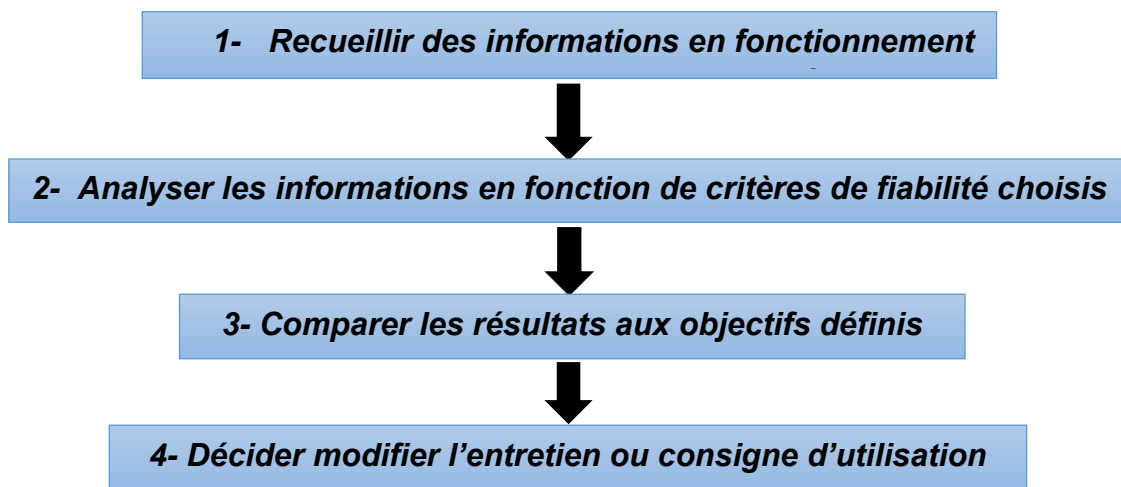


Figure 3.2 : Relation entre la probabilité de défaillance et le risque

### **3.9. Programme de contrôle de fiabilité**

La fiabilité est définie comme étant le degré de confiance que l'on peut avoir pour que dans des conditions d'exploitation donnée, un équipement ou un système assure une période d'utilisation donnée sans incident. Au point de vue de réglementation, les incidents à prendre en considération sont ceux qui mettant en cause la sécurité de l'avion.

Le programme de contrôle de fiabilité peut être schématisé comme suit :



- **Phase 1 : Recueil de l'information**

Parmi les principales sources d'information, on peut citer les documents suivants :

- Compte rendu équipage CRM et logbook
- Compte rendu d'anomalie constaté au sol
- Les essais au banc d'essai
- Les incidents (déposes) confirmés et non confirmés
- Les dépouillements systématiques d'enregistreur de paramètres de vol ADAPT/ACARS.

- **Phase 2 : Analyse des informations**

Il s'agit donc d'opérer un traitement statistique des informations recueillis de façon à obtenir des critères de fiabilité mesurables représentatifs de la tenu en service d'un système ou équipement. Citons par exemple, le taux d'incident technique

confirmé (défaillance), le taux de retard et d'annulation, MTBF, MTBUR, .... Le calcul de ses critères doit être effectué sur une période de référence suffisante pour que les valeurs obtenues soient significatives. Les calculs sont effectués mensuellement, révisé en 3 mois, 6 mois et enfin 12 mois.

- **Phase 3 : Comparaison des résultats aux objectifs**

A chaque critère de fiabilité défini dans le programme est associé une valeur limite (taux d'alerte) ou seuil. Cette valeur limite est établie à partir de l'expérience propre de l'exploitant et celle des autres exploitants qui sert de référence pour apprécier les résultats en exploitation.

**Exemple :**

- **Taux de défaillance  $\lambda$**  = 
$$\frac{\text{nombre de pannes} \times 1000 \text{ HDV}}{\text{Heure de fonctionnement} \times \text{nombre d'équipier par avion}}$$

- **MTBF** : Mean Time Between Faillure (Temps entre deux pannes confirmées)

$$\text{MTBF} = \frac{\text{heure de fonctionnement} \times \text{nombre équipier par avion}}{\text{Nombre de pannes confirmées}}$$

- **MTBUR** : Mean Time Between Unscheduled Removals (Temps entre deux pannes)

$$\text{MTBF} = \frac{\text{heure de fonctionnement} \times \text{nombre équipier par avion}}{\text{Nombre de pannes}}$$

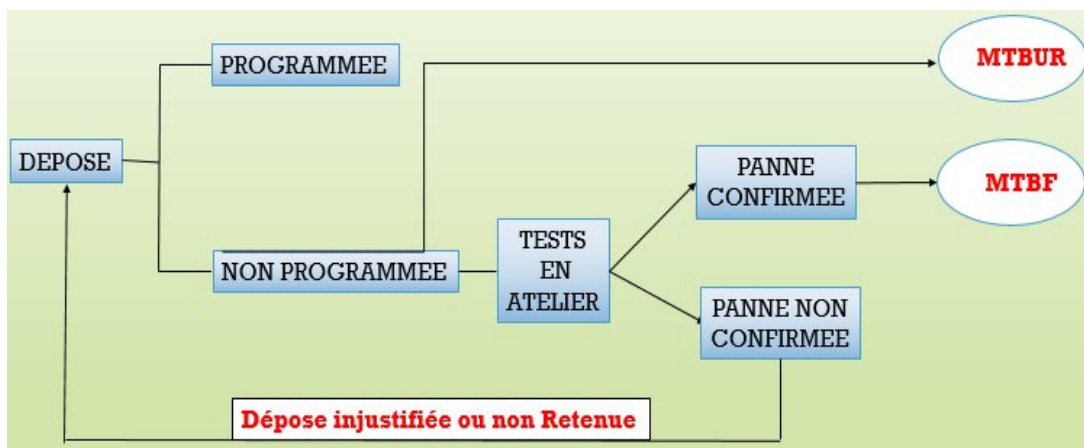


Figure 3.3 : Différence entre MTBF et MTBUR

- **Phase 4 : Décision**

Décider si les taux observés restent à des niveaux sensiblement inférieurs à la valeur d'alerte, on peut envisager un allègement de l'entretien du système considéré. Si le niveau d'alerte est dépassé, une analyse plus poussée des causes des dépassements doit être entreprises. Cette analyse peut conduire à décider un renforcement de l'entretien ou des consignes d'utilisation. Le système reste sous haute surveillance de façon à vérifier l'efficacité des mesures prises laquelle doit se traduire par un retour au-dessous du niveau d'alerte. Le choix du niveau d'alerte est particulièrement important. Un niveau trop élevé qui ne sera jamais atteint conduit à l'essai sans intervention. Inversement, un niveau d'alerte trop bas sans cesse dépassé pousse à entreprendre des actions correctives inutilement et coûteuses.

### **Exemple d'application**

Le tableau mentionne le comportement des pompes de régulations haute pression montées sur le B737-300.

- Nombre d'équipement sur avion =2
  - Du janvier au mois décembre 1995
  - Taux d'alerte 1994 est 1,08
- 1) - Calculer le taux d'alerte de 1995
  - 2) – Calculer le taux de défaillance  $\lambda$  de chaque mois
  - 3) – Calculer le MTBF de chaque mois
  - 4) – Représenter sur un graphe  $\lambda = f(\text{mois})$  et  $\text{MTBF} = f(\text{mois})$
  - 5) – Interpréter les courbes
  - 6) – Que pensez-vous de l'équipe de maintenance ? justifier votre réponse.

<b>Mois</b>	<b>Panne non retenues</b>	<b>Panne retenues</b>	<b>HDV</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>MTBF</b>
<b>Janvier</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1612</b>		
<b>Février</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>1335</b>		
<b>Mars</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>1739</b>		
<b>Avril</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>1944</b>		
<b>Mai</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>1964</b>		
<b>Juin</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>2001</b>		
<b>Juillet</b>	<b>21</b>	<b>7</b>	<b>2112</b>		
<b>Août</b>	<b>19</b>	<b>6</b>	<b>1914</b>		
<b>Septembre</b>	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>1843</b>		
<b>Octobre</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>1681</b>		
<b>Novembre</b>	<b>17</b>	<b>2</b>	<b>1509</b>		
<b>Décembre</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>1567</b>		

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] Boulenger A. et Pachaud C., "Aide mémoire - Surveillance des machines tournantes par analyse vibratoire." Editions Dunod, Paris, 2009.
- [2] Boulenger A., "Aide mémoire – Maintenance conditionnelle." Editions Dunod, Paris, 2008.
- [3] Boulenger A. et Pachaud C., "Analyse vibratoire en maintenance." Editions Dunod, Paris, 2007.
- [4] Héng J., "Pratique de la maintenance préventive." Editions Dunod, Paris, 2002.
- [5] Boulenger A. et Pachaud C., "Surveillance des machines par analyse des vibrations. – Du dépistage au diagnostic" Editions Afnor, 1998.
- [6] Monchy F., "La fonction maintenance." Editions Masson, Paris, 1996.
- [7] Augeix D., "Analyse vibratoire des machines tournantes." Techniques de l'Ingénieur. BM5 145.
- [8] Boulenger A., "Maintenance conditionnelle par analyse des vibrations." Techniques de l'Ingénieur. BR3 050.
- [9] Duchemin G., "Maintenance des machines et des moteurs." Techniques de l'Ingénieur. BM4 188.
- [10] Morel J., "Surveillance vibratoire et maintenance prédictive." Techniques de l'Ingénieur. BM5 148.