

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان
Université Aboubekr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de Technologie



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master
en Génie Mécanique
Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème

Contribution à la conception d'un outil d'aide au diagnostic des systèmes de productions

Réalisé par :

M. MRABET Mohammed El Amin

Présenté le 2017, devant les membres de jury :

M. HADJOUI Fethi	CB	Président	Univ. Tlemcen
M. GHERNAOUT Amine	Pr	Encadreur	Univ. Tlemcen
M. MAMI Elias Fouad	MAA	Co-Encadreur	Univ. Tlemcen
M. GUEZZEN Samir	MCB	Examineur	Univ. Tlemcen
M. KARA ALI Djamel	MCB	Examineur	Univ. Tlemcen

Année universitaire : 2016-2017

Dédicaces

Avec l'aide de DIEU le tout-puissant et les personnes qui m'ont aidé, j'ai pu achever ce modeste travail, que je dédie à mes très chers parents et en particulier à ma mère. Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien être. Vos prières m'ont été d'un grand secours. Je vous rends hommage par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance éternelle et de mon infini amour. Que Dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie pour que vous demeuriez le flambeau illuminant le chemin de vos enfants et petits-enfants. A mes grands-parents, puisse Dieu tout puissant vous accorder sa clémence, sa miséricorde et vous accueillir dans son saint paradis. A toute ma famille, frères et sœur, je vous dédie ce travail en témoignage de mon amour et mon attachement, en fin, je dédie ce travail à tous mes amis, mes Enseignants depuis le primaire jusqu'aux études supérieures.

Remerciements

Je témoigne ici ma profonde gratitude à Monsieur Ghernaout M.Amine promoteur et directeur de ce mémoire, qui m'a aidé avec sa grande expérience scientifique. Ses conseils pertinents et les nombreuses discussions qu'il m'a si aimablement accordées ont été un constant encouragement et nul doute qu'ils ont beaucoup contribué à la réalisation de ce modeste travail. Qu'il veuille trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

J'adresse aussi mes sincères remerciements aux membres de jury qui ont bien voulu examiner et juger ce travail.

Qu'il me soit permis ici de présenter mes vifs remerciements et mon profond respect à Monsieur Hadjoui Fethi enseignant à l'université Aboubakr Belkaid qui m'a fait l'honneur de présider le jury de mémoire.

J'adresse ici mes remerciements les plus sincères à mon co-encadreur Monsieur Mami Elias et à Monsieur Guezzen Samir et à Monsieur Kara ali Djamel enseignants à l'université Abou Bakr Belkaid qui ont accepté d'examiner ce travail.

Je ne terminerai pas mes remerciements à cette occasion sans remercier mes parents sans lesquels mon travail n'aurait pas vu le jour.

Mes remerciements finaux et non les moindres vont à toute ma famille, en particulier à ma sœur Amel et à mes frères Lokman et Youcef, et ma chère fiancée Yasmine qui m'ont toujours encouragé dans mes études.

Je ne les citerai pas, mais ils se reconnaîtront, tous mes amis et camarades, qui m'ont soutenu, même de loin. Je leurs en suis reconnaissant.

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : maintenance et diagnostic industriel	
Introduction	4
1.1 Généralités sur la Maintenance	4
1.1. Définition de la maintenance.....	4
1.2. Situation de la fonction maintenance au sein de l'entreprise	4
1.2.1 Centralisation	4
1.2.2 Décentralisation	5
1.3 Domaine d'action de la fonction maintenance	5
1.4 Importance de la maintenance par rapport à l'activité de l'entreprise	6
1.2. Niveaux de la maintenance	6
1.3. Sous-traitance en maintenance	7
1.3.1 Délégation de production.....	7
1.3.2 Sous-traitance de fonction	7
1.3.3 Sous-traitance de spécialité.....	7
1.3.4 Sous-traitance de capacité.....	7
4 Différentes formes de maintenance	8
1.4.1 Maintenance corrective	9
1.4.1.1 Maintenance palliative	9
1.4.1.2 Maintenance curative	10
1.4.2 Maintenance préventive	10
1.4.2.1 Maintenance conditionnelle	10
1.4.2.2 Illustration du principe de la maintenance conditionnelle.....	10
1.4.2.3 Maintenance prévisionnelle	11
1.4.2.4 Maintenance systématique	12
1.5. Défaillances, défauts et pannes	12
1.5.1 Définition du dispositif.....	13
1.5.2 Définition de la défaillance.....	14
1.5.2.1 Classification des défaillances	14
1.5.2.2 Types de défaillance.....	14
1.5.3 Définition d'un défaut	14
1.5.4 Définition de la panne.....	14
1.6. Diagnostic industriel	18
1.6.1 Définitions	18
1.6.2 Conduite d'un diagnostic.....	19
1.6.2.1 Manifestation de la défaillance	19
1.6.2.2 Symptômes	19
1.6.2.3 Expérience.....	20
1.6.2.4 Savoir-faire	20
Conclusion	

Chapitre 2 : maintenance et diagnostic industriel

Introduction.....	22
2.1. Méthodes de diagnostic	22
2.1.1 Méthodes internes,	22
2.1.2 Méthodes externes.	22
2.1.3 Méthodes inductives	22
2.1.4 Méthodes déductives	22
2.2. Analyses des défaillances et aide au diagnostic	22
2.2.1 Analyse quantitative des défaillances	23
2.2.1.1 Méthode ABC (Diagramme Pareto)	24
2.2.1.2 Diagrammes de Pareto en N, Nt e t ⁻	25
2.2.1.3 Abaque de Noiret	26
2.2.1.4 Tableau à coefficient	28
2.2.2 Analyse qualitative des défaillances	28
2.2.2.1 Diagramme Cause-Effets	28
2.2.2.2 Arbre de défaillances	29
2.2.2.2.1 Détermination de toutes les causes menant à l'EI.....	32
2.2.2.2.2 Victime d'une Défaillance Intrinsèque (DI)	33
2.2.2.2.3. Avantage	33
2.2.2.2.4 Limite.....	34
2.3 Analyse prévisionnelle des défaillances : (AMDEC)	35
2.3.1 Définition	35
2.3.2 Historique	35
2.3.3 Démarche de la méthode AMDEC	36
2.3.4.1. Apports	41
2.3.4.2 Erreurs à éviter.....	41
2.3.4.3 limites de la méthode AMDEC.....	41
2.3.4 Apports et limites de l'AMDEC	41
Conclusion.....	41

Chapitre 3 : Présentation de l'entreprise

Introduction	43
3.1 Cadre statutaire de Tassili Travail Aérien Spa (TTA SPA) :	45
3.1.1 Activités.....	47
3.1.2 Situation flotte	48
3.2 Prestations réalisées	48
3.2.1 Secteur avions	48
3.2.2 Secteur Hélicoptères	48
3.2.3 Clients en portefeuille	49
3.2.4 Perspectives de développement du secteur hélicoptères	49
3.2.5 Affrètement	
3.2.6 Politiques de la compagnie	50
3.3 Organisation de l'entreprise	51

3.3.1 Conseil d'administration.....	51
3.3.2 Organisation direction technique	53
3.3.2.1 Secrétariat.....	55
3.3.2.2 Sécurité et maintenance	55
3.3.2.3 Département engineering	57
3.3.2.4 Service gestion technique de la flotte (SGTF)	59
Conclusion	60

Chapitre 4 : diagnostic d'un turbopropulseur PT6A

Introduction	62
Terminologie	62
4.1. Turbopropulsseur PT6A.....	63
4.2. Principaux organes structuraux	67
4.2.1-Ensemble « entrée d'air »	67
4.2.2. Compresseurs	68
4.2.2.1 Compresseurs axiaux	69
4.2.2.2 Compresseurs centrifuges	70
4.2.3. Chambre de combustion.....	70
4.2.4. Turbine	71
4.2.5. Canal d'éjection	71
4.2.5.1. Carter d'échappement.....	71
4.2.5.2. Tuyère	71
4.2.5.6. Réducteurs	72
4.3. Sous-systèmes du turbopropulseur.....	74
4.3.1. Circuit d'air Interne	74
4.3.2. Circuit d'air externe	74
4.3.3. Circuit d'huile	75
4.3.4. Fonction de démarrage	75
4.3.4.1 Lancement.....	75
4.3.4.2 Alimentation en carburant	75
4.3.4.3 Allumage.....	76
4.3.4.4 Cycle de démarrage	76
4.4. Maintenance PT6-A4.	76
4.4.1 Maintenance programmé.....	76
4.4.2Contrôles	76
4.2.1 Contrôle endoscopique PT6A	77
4.4.2.2 Principe de l'endoscope	77
4.4.3 Application Abaque de Noiret	78
4.4.4 Problèmes de démarrage	79
4.4.4.1 Arbre de défaillance	82
4.4.4.2 Etude AMDEC	86
4.4.4.3 Outil d'aide au diagnostic	89

Sommaire

Conclusion..... 96

Conclusion et perspectives

Liste des figures

Figure 1.1	: Centralisation de la maintenance	4
Figure 1.2	: Différentes formes de maintenance	8
Figure 1.3	: Principe de la maintenance conditionnelle	11
Figure 1.4	: maintenance systématique	12
Figure 1.5	: Décomposition hiérarchique d'un processus	13
Figure 1.6	: Mécanisme d'usure par frottement	17
Figure 2.1	: Analyse des temps	24
Figure 2.2	: Diagramme de Pareto ou courbe ABC	25
Figure 2.3	: Diagramme d'Ishikawa	29
Figure 2.4	: Arbre de défaillance	30
Figure 2.5	: Symbolisme des arbres de défaillances	30
Figure 2.6	: Construction de l'arbre de défaillance	31
Figure 2.7	: Arbre de défaillance « température fluide insuffisante »	32
Figure 2.8	: Analyse causes de défaillance	39
Figure 3.1	: Organigramme TTA	51
Figure 3.2	: APPROVAL CERTIFICATION par DACM	44
Figure 3.3	: Flottes de TTA avec leurs capacités	46
Figure 3.4	: situation flotte TTA	48
Figure 3.5	: Quelques clients de TTA	49
Figure 3.6	: développement de l'encadrement chez TTA	50
Figure 3.7	: Organigramme TTA	51
Figure 3.8	: Organigramme direction technique	53
Figure 4.1	: Avion Beechcraft 1900d muni d'un turbopropulseur PT6A	63
Figure 4.2	: Turbopropulseur PT6A	64
Figure 4.3	: Le turbopropulseur PT6A dans le hangar maintenance TAL	64
Figure 4.4	: roulement PT6A [9]	66
Figure 4.5	: entrée d'air PT6A [9]	67
Figure 4.6	: Entrée d'air PT6A	67
Figure 4.7	: Protection de l'entrée d'air	68
Figure 4.8	: Redresseur [9]	69
Figure 4.9	: Rouet, diffuseur radial et axial [9]	70
Figure 4.10	: Mode de fonctionnement [9]	71

Liste des figures

Figure 4.11	: Flux d'air PT6A [9]	72
Figure 4.12	: Réducteur PT6A [9]	73
Figure 4.13	: Réducteur PT6A [9]	73
Figure 4.14	: Coupe d'un réducteur décalé [9]	74
Figure 4.15	: Boroscope Olympus Iplex LX/LT	77
Figure 4.16	: Application abaque de Noiret sur PT6A	78
Figure 4.17	: Arbre de défaillances problème de démarrage	82
Figure 4.18	: Arbre de défaillances pas de RPM pendant tentatives de démarrage	82
Figure 4.19	: Arbre de défaillances RPM insuffisant lors du démarrage.....	83
Figure 4.20	: Arbre de défaillances RPM trop élevé	83
Figure 4.21	: Arbre de défaillances démarrage retardé	84
Figure 4.22	: Arbre de défaillances problèmes d'allumage	84
Figure 4.23	: Arbre de défaillances démarrage lent en ralenti	85
Figure 4.24	: Arbre de défaillances démarrage chaud	85
Figure 4.25	: Outil d'aide au diagnostic de PT6A	89

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Niveaux de maintenance.....	6
Tableau 1.2 : Activités de la fonction maintenance et leurs taches associée.....	9
Tableau 2.1 : nombre de points correspondant à l'âge de l'équipement.....	27
Tableau 2.2 Nombre de point correspondant à l'importance de l'équipement	27
Tableau 2.3 : Nombre de points correspondant au cout de l'équipement	27
Tableau 2.4 : Nombre de points correspondant à la complexité et l'accessibilité de l'équipement.....	27
Tableau 2.5 : Nombre de points correspondant à la robustesse et la précision de l'équipement	27
Tableau2.6 : Nombre de points correspondant à l'utilisation de l'équipement dans le temps.	28
Tableau 2.7 : Nombre de points correspondant aux conséquences des défaillances sur la machine	28
Tableau 2.8 : Nombre de points correspondant aux délais de production qui lui sont liés.....	28
Tableau 3.1 : Répartition flotte TTA	45
Tableau 3.2 : Activité flotte TTA	47

Sigles et abréviation

AD	: Airworthiness Directive
AMM	: Aircraft Maintenance Manuelle
CIc	: Cout d'intervention corrective
CIpc	: Cout d'intervention préventive conditionnelle
CMM	: Component Maintenance Manuel
DACM	: Direction de l'Aviation Civile et de la Météorologie
DT	: Down Time
EI	: Evènement Indésirable
FCU	: Fuel Control Unit
FTS	: Fiche de Travail Supplémentaire
IATA	: International Air Transport Association
Ic	: Intervention corrective prévue
IOSA	: IATA Operational Safety Audit
Ipc	: Intervention préventive conditionnelle
Ips	: Intervention préventive systématique
ManEX	: Manuelle d'Exploitation
ME	: Manuelle d'Entretien
MOE	: Manuelle de l'Organisation d'Entretien
MPD	: Maintenance Planning Data
MTBF	: Mean time between failures
MTTR	: Mean Time to Repair
SB	: Service Bulletin
SL	: Service Lettre
TAL	: Tassili Airlines
TBF	: Time Between Failures)
TTA	: Tassili Travail Aérien
TTR	: Time To Repair
UT	: Up Time

Introduction générale

Les entreprises de nombreux secteurs d'activités (aéronautique, automobile, sidérurgie, chimie, pétrochimie...) sont de plus en plus soumises à la concurrence du marché. Pour assurer leur avenir, les entreprises doivent désormais faire face à différents enjeux socio-économiques, ce qui les amène à avoir une complexité toujours croissante de leurs systèmes de production pour pouvoir atteindre des objectifs de plus en plus exigeants. Sur le plan économique, les coûts de production, le rendement ainsi que le respect des délais sont des facteurs qui influent sur la compétitivité des entreprises. Sur le plan technique, les principales contraintes portent sur la diversité, la flexibilité, la complexité et la qualité des produits. Des développements au niveau des technologies de l'informatique et de l'automatisation deviennent nécessaires.

L'automatisation est donc devenue de plus en plus importante pour optimiser la productivité en améliorant la maîtrise des processus industriels. Malheureusement, pour atteindre ces objectifs, l'automatisation a accru la complexité des processus et a changé la tâche de l'opérateur dont le rôle a évolué de la conduite à la supervision. Désormais, il est devenu essentiel que l'opérateur puisse connaître, à tout instant, l'état de fonctionnement du processus. Pour cela, l'échange d'informations entre l'opérateur et le processus a été amélioré au travers des interfaces homme-machine. Mais au-delà de ces évolutions, il faut désormais être capable aussi de détecter un dysfonctionnement le plus rapidement possible, de l'isoler, d'en identifier la cause probable de façon à réduire leurs conséquences néfastes, et puis de proposer à l'opérateur des actions correctives.

De nos jours, l'implémentation des systèmes automatisés suppose donc la mise en place d'outils pour la supervision. La maîtrise d'un processus est indissociable de sa supervision pour aider les entreprises dans leur recherche permanente d'une meilleure productivité et qualité à moindre coût. Cette supervision permet, par ailleurs, aux entreprises de garantir et préserver la sûreté de fonctionnement des équipements, de leur personnel (opérateurs), mais aussi de protéger l'environnement.

Dans ce contexte, de nombreuses approches sont développées, en vue de la détection de défaillances et du diagnostic, par les différentes communautés de recherche en automatique, productique et intelligence artificielle. Les méthodes se différencient par rapport au type de connaissances à priori sur le processus qu'elles nécessitent. Ainsi elles peuvent être classées, de façon générale, comme des méthodes à base de modèles, à base de connaissances et des méthodes à base de données historiques. Les méthodes à base de modèles considèrent un modèle structurel du comportement du processus basé sur des principes physiques

fondamentaux. Ces modèles peuvent être de type quantitatif, exprimés sous forme d'équations mathématiques ou bien de type qualitatif, exprimées par exemple sous forme de relations logiques. Les méthodes à base de connaissance exploitent les compétences, le raisonnement et les connaissances des experts sur le processus pour les transformer en règles, de manière à résoudre des problèmes spécifiques. Enfin, les méthodes à base de données cherchent à découvrir des informations, sous forme d'exemples type ou tendances, au sein des mesures venant des capteurs et des actionneurs, pouvant identifier le comportement du procédé. Ces méthodes comprennent, parmi d'autres, les méthodes d'apprentissage et de classification (ou reconnaissance de formes).

Dans notre travail, on va s'intéresser aux méthodes à base de connaissance, dans le domaine de l'automatique et de la supervision des processus, la conception et l'utilisation des modèles mathématiques précis pour la détection et le diagnostic est bien connu. Mais, dans beaucoup de cas, la construction d'un tel modèle est très difficile, de par la nature complexe ou non-linéaire du processus lui-même, des paramètres variables dans le temps ou du manque de mesures disponibles. Dans la pratique, il est démontré que, dans ce cas, l'opérateur humain peut fournir une meilleure supervision en utilisant sa propre connaissance et son expérience pour assurer le bon fonctionnement du processus. De ce fait, les connaissances de l'expert sur la structure et le comportement du processus sont exploitées par diverses techniques parmi elle l'AMDEC et l'arbre de défaillance

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre propose un tour d'horizon sur la maintenance avec ses niveaux et ses différentes formes ainsi que des généralités sur le diagnostic.

Le deuxième chapitre présente les différentes méthodes et outils de diagnostic quantitatif et qualitatif, ainsi que le développement de l'arbre de défaillance et la méthode AMDEC.

Le troisième chapitre se résume à une présentation bien détaillé de TASSILI TRAVAIL AERIEN.

Le quatrième chapitre intègre le moteur propulseur PT6A, ses caractéristiques techniques et son mode de fonctionnement, sa maintenabilité et l'application de l'abaque de Noiret, arbre de défaillances et méthode AMDEC du problème de démarrage

Et on termine par une conclusion général et perspectives

Chapitre 1 : maintenance et diagnostic industriel

Introduction

Le maintien des équipements de production est un enjeu clé pour la productivité des usines aussi bien que pour la qualité des produits. C'est un défi industriel impliquant la remise en cause des structures figées actuelles et la promotion de méthodes adaptées à la nature nouvelle des matériels.

1.1 Généralités sur la maintenance

La maintenance est la fonction qui doit permettre d'améliorer le taux de disponibilité des ressources de l'entreprise, de diminuer les gaspillages. Elle est définie comme « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».[1]

1.1.1 Définition de la maintenance

D'après l'Afnor (NF X 60-010) : « La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

Dans une entreprise, maintenir, c'est donc effectuer des opérations (dépannage, réparation, graissage, contrôle, etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité. [2]

1.1.2. Situation de la fonction maintenance au sein de l'entreprise :

Il existe deux tendances quant au positionnement de la maintenance dans l'entreprise

1.1.2.1 Centralisation

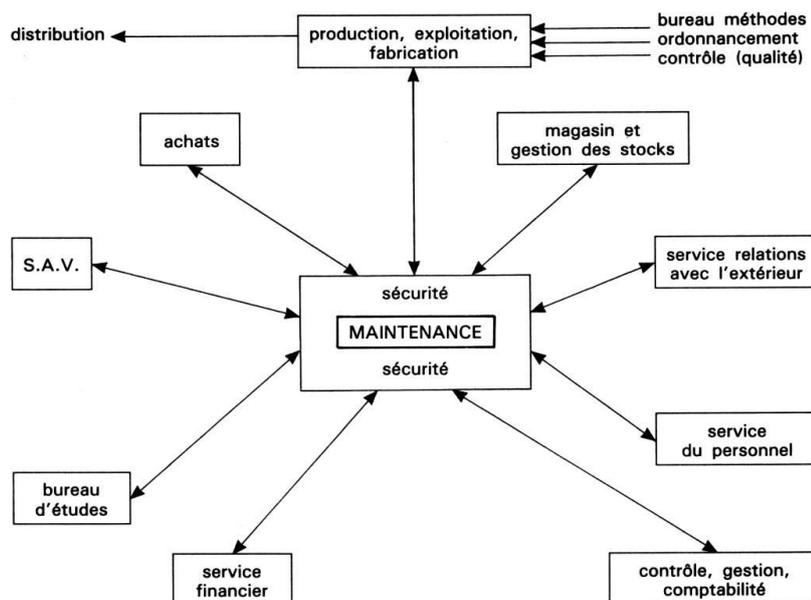


Figure 1.1 : Centralisation de la maintenance [1]

Toute la maintenance est assurée par un unique service interne avec les avantages suivants :

- Standardisation des méthodes, des procédures et des moyens de communication.
- Possibilité d'investir dans des matériels onéreux grâce au regroupement.
- Vision globale de l'état du parc des matériels à gérer.
- Gestion plus aisée et plus souple des moyens en personnel.
- Rationalisation des moyens matériels et optimisation de leurs usages.
- Diminution des quantités de pièces de rechange disponibles.
- Communication simplifiée avec les autres services grâce à sa situation centralisée.

1.1.2.2 Décentralisation

La maintenance est confiée à plusieurs services, de dimension proportionnellement plus modeste, liés à chacun des services de l'entreprise.

Dans ce cas, le service maintenance n'a pas de direction unique. Les différents pôles maintenance adjoints aux autres services de l'entreprise dépendent bien souvent hiérarchiquement de ces derniers. [2]

1.1.3 Domaines d'action de la fonction maintenance

Dans une entreprise, il existe un grand nombre de matériels différents qui sont liés ou non à la production. C'est dans ce contexte qu'apparaît la nécessaire polyvalence des techniciens de maintenance ainsi que leurs capacités d'adaptation. La liste qui suit permet de se rendre compte de la variété des actions qui constituent souvent le quotidien de la mission d'un service maintenance :

- Maintenance préventive et corrective de tous les systèmes dont le service à la charge ainsi que toutes les opérations de révisions.
- Travaux d'installation et de mise en route de matériels neufs.
- Travaux directement liés aux conditions de travail.
- Amélioration, reconstruction et modernisation des installations.
- Gestion des pièces de rechange, des outillages et des moyens de transport.
- Fabrication de certaines pièces détachées.
- Travaux divers dans les locaux de l'entreprise, agrandissements, déménagements.
- Gestion des différentes énergies et des réseaux de communication.

Pour tous ces points, l'objectif permanent est de maintenir les matériels dans un état optimal de service. La priorité sera bien sur toujours orientée vers l'outil de production.

Le service maintenance doit donc maîtriser le comportement des matériels en gérant les moyens nécessaires et disponibles. C'est là que l'importance de la mutation de l'entretien traditionnel

vers une logique de maintenance prend toute son importance. [3]

1.1.4 Importance de la maintenance par rapport à l'activité de l'entreprise

L'importance de la maintenance diffère selon le secteur d'activité. La préoccupation permanente de la recherche de la meilleure disponibilité, suppose que tout devra être mis en œuvre, afin d'éviter toute défaillance. La maintenance sera donc inévitable et lourde dans les secteurs où la sécurité est capitale. Inversement, les industries manufacturières à faible valeur ajoutée pourront se satisfaire d'un entretien traditionnel et limité.

- Importance fondamentale : nucléaire, pétrochimie, chimie, transports
- Importance indispensable : entreprises à forte valeur ajoutée.
- Importance moyenne : industries de constructions diversifiées, équipement semi automatiques.
- Importance secondaire : entreprises sans production de série, équipements variés.
- Importance faible ou négligeable : entreprise manufacturière, faible valeur ajoutée. [3]

1.2. Niveaux de la maintenance

La norme Afnor 60-015 définit cinq niveaux de maintenance (ou NTI : Niveaux Techniques d'Intervention) :

Niveau	Actions	Intervenants	Documentation associée	Moyens logistiques
1	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Réglages, contrôles et inspections simples ▶ Opérations élémentaires de maintenance préventive ▶ Remplacement consommables et accessoires 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Exploitant (opérateur, régleur...) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Modes opératoires d'automaintenance ▶ Procédures assurance qualité 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Petit outillage ▶ Consommables
2	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Maintenance préventive systématique ▶ Réparations par échanges standards simples 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Technicien ou exploitant habilité (régleur, chef de ligne, conducteur...) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Procédures détaillées ▶ Instructions de maintenance ▶ Documents de gestion 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Équipements de soutien d'utilisation simple ▶ Pièces de rechange portables
3	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Maintenance corrective : diagnostic dépannage, réparation ▶ Maintenance préventive complexe 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Technicien de maintenance qualifié 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Procédures détaillées ▶ Dossier machine ▶ Documents de gestion 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Équipements de soutien complexes ▶ Outillages, moyens de contrôle et d'essais, pièces de rechange
4	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Travaux importants de Maintenance corrective ou préventive ▶ Améliorations importantes 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Techniciens spécialisés et professionnels d'un atelier central de maintenance ▶ Société spécialisée 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dossier machine ▶ Documentations spécifiques ▶ Dossier de préparation ▶ Documents de gestion 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Gros outillage ▶ Moyens importants de contrôle et/ou d'essai ▶ Pièces de rechange et sous-ensembles
5	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Rénovation ▶ Reconstruction ▶ Gros travaux d'amélioration 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Constructeur du matériel ou société spécialisée 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Documentation spécifique (constructeur) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Moyens logistiques importants et/ou spécifiques

Tableau 1.1 : Niveaux de maintenance [4] Tableaux des niveaux de maintenance (source AFNOR)

- niveau 1 : réglages simples sans démontage et au moyen de documentations fournies.
- niveau 2 : dépannage par échange standard.
- niveau 3 : diagnostic de pannes, réparation par échange de composants.
- niveau 4 : maintenance corrective ou préventive effectuée dans les ateliers du fabricant ou de ses sous-traitants.
- niveau 5 : réparation ou reconstruction confiée à un atelier spécialisé. [1]

1.3 Sous-traitance en maintenance

La sous-traitance est un contrat par lequel une entreprise demande à une autre entreprise de réaliser une partie de sa production ou des entreprises auxquelles sont agréées certaines parties de travail.

1.3.1 Délégation de production

C'est la sous-traitance industrielle d'un ensemble complet. Le donneur d'ordres garde la responsabilité de la conception en amont et de la commercialisation en aval.

1.3.2 Sous-traitance de fonction

C'est une opération de sous-traitance portant sur la réalisation d'un sous-ensemble remplissant une fonction précise dans tout ou partie du produit.

Le terme « fonction » doit en général pouvoir être défini par un verbe ou une action suivi d'un complément d'objet et d'un qualificatif précisant la nature technique et l'importance relative.

1.3.3 Sous-traitance de spécialité

On parle de sous-traitance de spécialité lorsque le donneur d'ordres fait appel à un sous-traitant qui dispose de compétences ou d'équipements dont elle ne dispose pas. Le sous-traitant est alors un spécialiste par rapport aux opérations qui lui sont confiées.

1.3.4 Sous-traitance de capacité

On parle de sous-traitance de capacité lorsque le donneur d'ordres est lui-même équipé pour effectuer les travaux qu'il confie au sous-traitant.

La sous-traitance de capacité est conjoncturelle lorsque le donneur d'ordres utilise les services du sous-traitant en raison d'une surcharge d'activité ou d'une baisse momentanée de sa capacité (panne...).

Elle est structurelle si l'entreprise est désireuse de conserver une partie de ses capacités de production de manière permanente et donne une partie de sa production à réaliser au sous-traitant.

1.4 Différentes formes de maintenance

Les diverses options susceptibles d'être mises en œuvre par le service 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 à éliminer le défaut, grâce à un dépannage ou une réparation
- la maintenance préventive qui correspond à la volonté de maîtriser la dégradation d'un équipement afin d'éviter d'être pris au dépourvu pas la panne

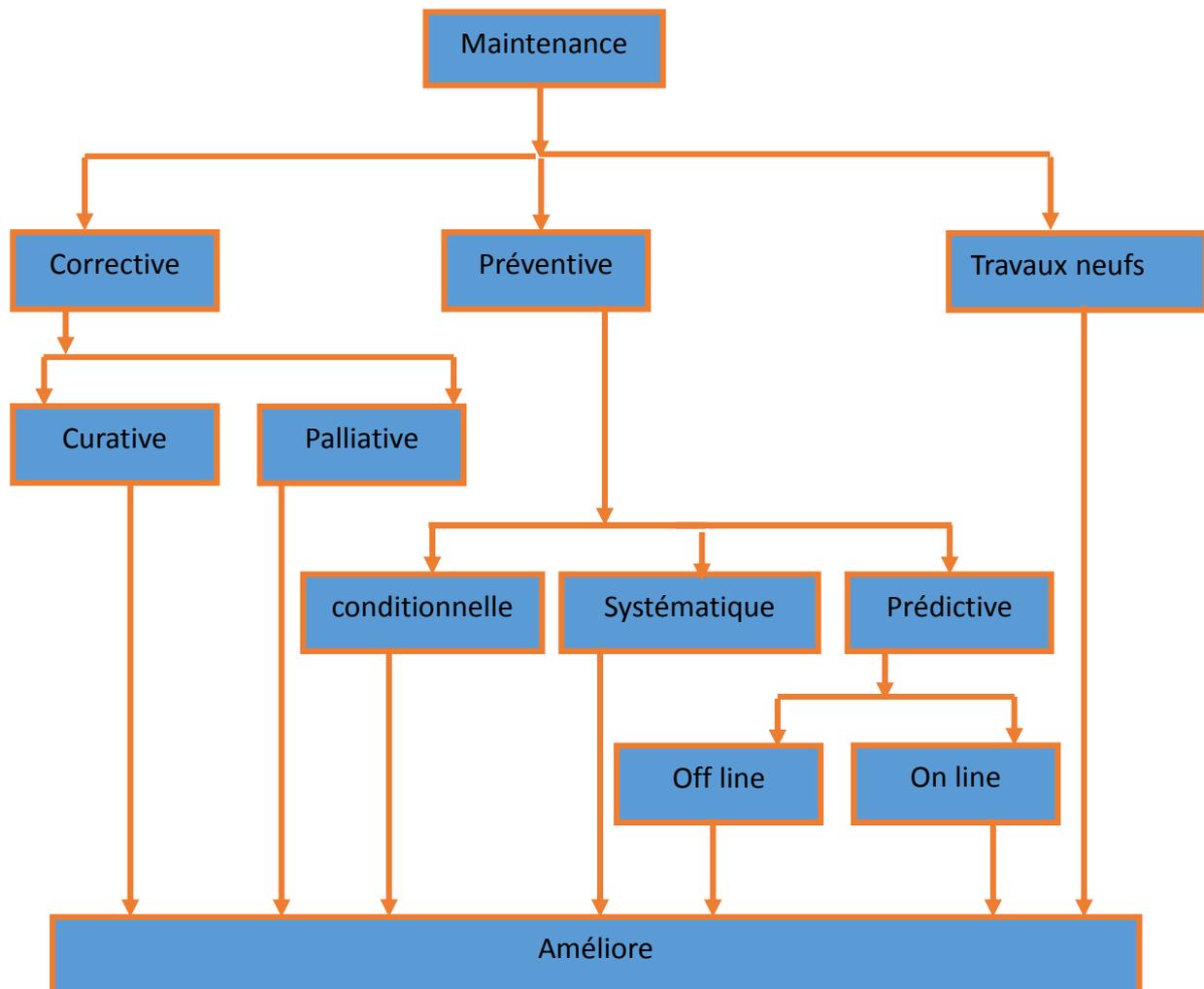


Figure 1.2 : Différentes formes de maintenance

Dans le tableau 1.2 les principales activités de la fonction maintenance et leurs tâches associées

ACTIVITÉS ET TÂCHES PROFESSIONNELLES

ACTIVITÉS	TÂCHES ASSOCIÉES
1 : MAINTENANCE CORRECTIVE <i>Mettre en œuvre et optimiser la maintenance corrective</i>	1.1. Diagnostiquer les pannes ; 1.2. Préparer les interventions ; 1.3. Effectuer les actions correctives liées aux technologies : mécanique, électrique, pneumatique et hydraulique ; 1.4. Mettre à jour et enrichir les ressources concernées par l'intervention.
2 : MAINTENANCE PRÉVENTIVE <i>Définir, mettre en œuvre et optimiser la maintenance préventive</i>	2.1. Définir le plan de maintenance préventive systématique, conditionnelle et prévisionnelle ; 2.2. Définir et intégrer les moyens de surveillance ; 2.3. Planifier et mettre en œuvre le plan de maintenance préventive ; 2.4. Exploiter les informations recueillies ; 2.5. Mettre à jour et optimiser le plan de maintenance préventive.
3 : AMÉLIORATION <i>Améliorer la sécurité, la disponibilité, et optimiser les coûts liés à la maintenance</i>	3.1. Définir des priorités d'action et des axes d'amélioration ; 3.2. Concevoir et argumenter des solutions d'amélioration ; 3.3. Mettre en œuvre les solutions d'amélioration et/ou les modifications, assurer le suivi des travaux.
4 : INTÉGRATION <i>Intégrer des nouveaux biens</i>	4.1. Contribuer à l'intégration des contraintes liées à la maintenance lors de la conception d'un nouveau bien ; 4.2. Préparer l'installation et participer à la réception et à la mise en service des nouveaux biens.
5 : ORGANISATION <i>Définir ou optimiser l'organisation de la fonction maintenance</i>	5.1. Définir et justifier la stratégie de maintenance ; 5.2. Mettre en place et/ou optimiser l'organisation des activités de maintenance.
6 : ANIMATION ET ENCADREMENT <i>Assurer l'animation et l'encadrement d'une équipe de maintenance</i>	6.1. Animer et encadrer une équipe de maintenance.

Tableau 1.2 : Activités de la fonction maintenance et leurs tâches associées [3]

1.4.1 Maintenance corrective

La maintenance corrective regroupe l'ensemble des activités réalisées après la défaillance (totale ou partielle) d'un bien, ou la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement.

La maintenance corrective peut être :

- palliative.
- curative.

1.4.1.1 Maintenance palliative

(AFNOR) X 60-000 « Action de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelée couramment «dépannage», la maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère

provisoire qui doivent être suivies d'actions curatives. »

1.4.1.2 Maintenance curative

La maintenance 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 du type réparation, modification ou amélioration doivent présenter un caractère permanent[3]

1.4.2 Maintenance préventive

La norme AFNOR X 60-000 décrit la maintenance préventive ainsi :

Maintenance préventive : Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien, elle est subdivisée en :

Maintenance conditionnelle : maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.

Maintenance prévisionnelle : Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien

Maintenance systématique : Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

1.4.2.1 Maintenance conditionnelle

Selon la Norme AFNOR X 60-000

«Les activités de maintenance conditionnelle sont déclenchées suivant des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service. »

Maintenance préventive conditionnelle : « Les remplacements ou les remises en état des pièces, les remplacements ou les appoints des fluides ont lieu après une analyse de leur état de dégradation. Une décision volontaire est alors prise d'effectuer les remplacements ou les remises en état nécessaires. »

1.4.2.2 Illustration du principe de la maintenance conditionnelle

La figure ci-dessous illustre le principe de la maintenance conditionnelle. Elle se rapporte au suivi par mesures périodiques d'une dégradation jusqu'au seuil d'alarme qui déclenche une intervention préventive conditionnelle (notée Ipc).

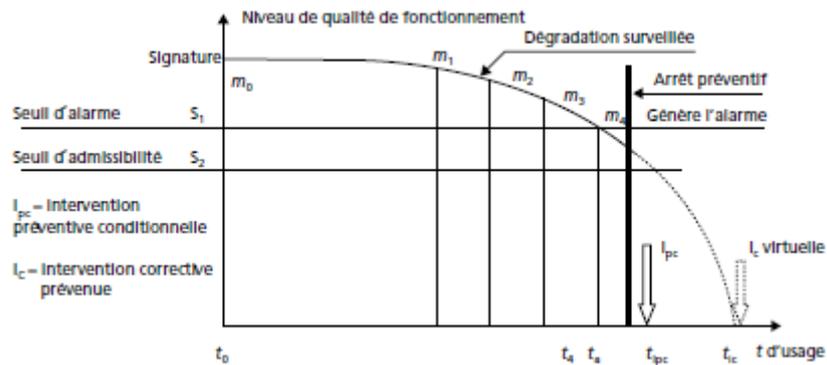


Figure 1.3 : Principe de la maintenance conditionnelle [3]

- La « signature » est une prise de référence de l'état de « bon fonctionnement » à l'origine.
- Les mesures (cas le plus fréquent) peuvent être de simples observations visuelles (état constaté), des images (spectres, radios, etc.). Elles peuvent être remplacées par des alarmes pré-réglées (led, fusible, etc.), ou des inspections préventives *in situ*. Les mesures m_i peuvent être continues ou périodiques, espacées de Δt de telle manière que la dégradation à prévenir ne puisse échapper à la surveillance :

$$\Delta t < t_{\text{admissibilité}} - t_{\text{alarme}}$$

- Les mesures peuvent ne pas commencer à t_0 (sauf signature) si l'on connaît la loi de dégradation. Les mesures peuvent être collectées par rondes ou « monitorées » au central de surveillance.
- L'arrêt sera généré automatiquement par l'alarme (cas d'un fusible), ou différé par décision volontaire jusqu'à l' I_{pc} programmée et organisée.
- L'intervention I_{pc} sera programmée à partir de l'alarme, suivant un temps de « réaction » du service maintenance à prédéterminer. Son coût direct $C_{I_{pc}}$ sera par nature (choix de la dégradation à prévenir) très inférieur au coût (direct + indirect) de la défaillance évitée :

$$C_{I_{pc}} \ll C_{ic}$$

1.4.2.3 Maintenance prévisionnelle

Selon la Norme AFNOR X 60-000 la Maintenance prévisionnelle : « maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien permettant de retarder et de planifier les interventions. Elle est parfois improprement appelée maintenance prédictive ».

1.4.2.4 Maintenance systématique

Maintenance programmée : « maintenance préventive exécutée selon un calendrier préétabli ou selon un nombre défini d'unités d'usage ».

Maintenance systématique : « maintenance préventive exécutée sans contrôle préalable de l'état du bien et à des intervalles définis ».

Toutes ces définitions se recoupent dans la figure 3. Nous noterons T la période d'intervention prédéterminée, I_{ps} chaque intervention préventive systématique.

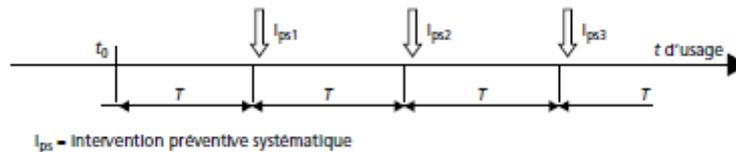


Figure 1.4 : maintenance systématique [3]

Les interventions I_{ps} consistent le plus souvent en un changement de composant, mais peuvent consister également en visites préventives, réglages, étalonnages, etc.

Elles peuvent se rapporter :

- à une unité de production (remise à niveau par arrêt annuel par exemple),
- à un système (révision limitée ou générale),
- à un « module » ou sous-ensemble par échange standard (carte électronique, vérin, réducteur, moteur électrique, etc.),
- à un composant « sensible » (filtre, lampe, balai de moteur CC, joint, flexible, courroie, etc.),
- à un fluide (lubrifiant dégradé, etc.). Pour les interventions « lourdes », elles sont précédées d'une expertise des points à risque (prévision de défaillances potentielles).

[3]

1.5 Défaillances, défauts et pannes

Un processus industriel est une installation complexe assumant un objectif fonctionnel de haut niveau (production de bien ou de service).

Pour assurer ces objectifs fonctionnels de haut niveau, le processus fait appel à un ensemble de systèmes interconnectés. Chaque système assure une ou plusieurs fonctions bien définies.

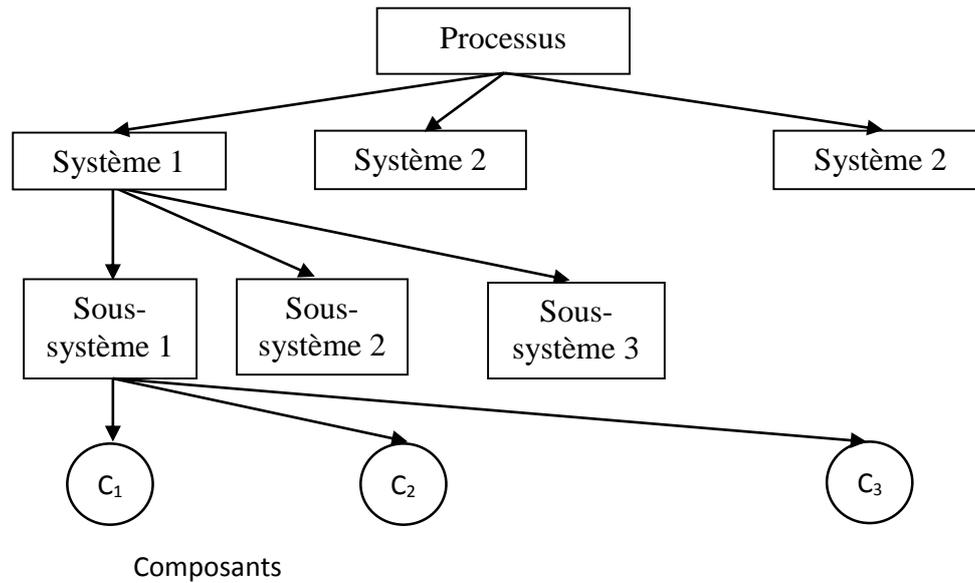


Figure 1.5 Décomposition hiérarchique d'un processus [5]

Exemples des systèmes :

- Dans une centrale nucléaire, un générateur de vapeur a pour fonction principal d'évacuer la chaleur du circuit primaire et de produire de la vapeur.
- Pour un avion, les moteurs contribuent à la fonction propulsion.
- Les systèmes sont décomposés en sous-systèmes.
- Les sous-systèmes sont décomposés en composants bien déterminés. En règle générale et en pratique ce sont sur ces composants que l'on effectuera de la maintenance et non sur des systèmes.
- Chaque composant peut être ensuite décomposé en pièce élémentaire qui en général est l'élément qui fera l'objet d'un échange standard.

Nature des systèmes et composants

Les méthodes de diagnostic ne possèdent pas de caractère universel. En fonction de la nature de processus, systèmes, sous systèmes, composants, il faudra mettre en oeuvre à chaque fois des méthodes spécifiques tenant compte des technologies déployées.(5)

1.5.1 Définition du dispositif

Selon la norme AFNOR X 06-501, il s'agit là du produit auquel s'applique l'étude :

- Composant (le plus petit constituant irréparable par l'utilisateur),
- Sous-ensemble,
- Ensemble.

1.5.2 Définition de la défaillance

C'est la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir ses ou ses fonctions requises (s) avec les performances définies dans les spécifications techniques.

Les défaillances, compte tenu de leurs manifestations, de leurs effets et de leurs conséquences ont fait l'objet de plusieurs classifications. On qualifiera alors les pannes de mineurs, majeurs, critiques, catastrophiques, partiels, totales, etc. [5]

Causes de défaillance : circonstances liées à la conception, à la fabrication, à l'installation, à l'utilisation et à la maintenance qui ont conduit à la défaillance.

Mécanisme de défaillance : processus physiques, chimiques ou autres qui conduisent ou ont conduit à une défaillance.

Mode de défaillance : effet par lequel une défaillance se manifeste.

Dégradation : évolution irréversible des caractéristiques d'un bien liée au temps ou à la durée d'utilisation.

1.5.3 Définition d'un défaut

Un défaut est tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique de référence lorsque celui-ci est en dehors des spécifications.

Diagnostic et expertise

Les défauts sont classifiés d'une façon similaire aux défaillances. [5]

1.5.4 Définition de la panne

La panne est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise.

Dès l'apparition d'une défaillance, caractérisée par la cessation du dispositif à accomplir sa fonction, le dispositif sera déclaré en panne.

Par conséquent, une panne résulte toujours d'une défaillance. Les pannes sont classifiées d'une façon similaire aux défaillances. Cependant il existe une classification particulière aux pannes : panne intermittente et panne fugitive.

Une défaillance conduit à un défaut puisqu'il existe un écart entre la caractéristique constatée et la caractéristique spécifiée.

Inversement un défaut n'induit pas nécessairement une défaillance.

Le diagnostic est un des facteurs contribuant à la disponibilité de l'outil de production.

Disponibilité : C'est l'aptitude d'un système à fonctionner lorsqu'on le sollicite.

La disponibilité peut décliner en termes de Fiabilité, Maintenance et Sûreté.

Fiabilité : C'est l'aptitude d'un système à accomplir sa mission dans des conditions données d'utilisation.

Maintenabilité : C'est l'aptitude d'un système à être entretenu ou remis en marche.

Sûreté : C'est l'aptitude d'un système à respecter l'utilisateur et son environnement.[5]

Panne fugitive

Une panne intermittente et difficilement observable. Terme anglais : fugitive fault

Panne intermittente : Panne d'une entité subsistant pendant une durée limitée après laquelle l'entité redevient apte à accomplir une fonction requise sans avoir été soumise à une opération de maintenance corrective. Terme anglais : intermittent fault

1.5.4.1 Classification des défaillances

La norme NF X 60-011 propose plusieurs mises en famille des défaillances :

Suivant leurs causes :

- Défaillances de causes intrinsèques : défaillances dues à une mauvaise conception du bien, à une fabrication non conforme du bien ou à une mauvaise installation du bien. Les défaillances par usure (liées à la durée de vie d'utilisation) et par vieillissement (liées au cours du temps) sont des défaillances intrinsèques.
- Défaillance de causes extrinsèques : défaillances de mauvais emploi, par fausses manœuvres, dues à la maintenance, conséquences d'une autre défaillance.

Suivant leur degré : défaillance complète, partielle, permanente, fugitive, intermittente, etc

Suivant leur vitesse d'apparition : soudaine ou progressive

Défaillance progressive

Défaillance due à une évolution dans le temps des caractéristiques d'une entité.

Note : Elle peut être prévue par un examen ou une surveillance antérieure.

Terme anglais : gradual failure, drift failure, progressive failure

Défaillance soudaine

Défaillance qui ne se manifeste pas par une perte progressive des performances et qui n'aurait pas pu être prévue par un examen ou une surveillance antérieure.

Terme anglais : sudden failure

Défaillance Partielle :

Défaillance à la suite de laquelle l'équipement ne peut plus accomplir qu'une partie des fonctions prévues initialement ou ne peut les accomplir qu'avec des performances dégradées.

Défaillance Complète

Défaillance entraînant l'inaptitude complète de l'équipement à accomplir toutes les fonctions prévues. [6]

1.5.4.2 Types de défaillances

Il existe plusieurs types de défaillances

1.5.4.2.1 Défaillances mécaniques par détérioration de surface

Usure : enlèvement progressif de matière à la surface des pièces d'un couple cinématique en glissement relatif.

Fretting-corrosion : usure particulière apparaissant au contact de 2 pièces statiques, mais soumises à de petits mouvements oscillants (vibrations). C'est le cas des pièces frettées ou des clavetages.

Ecaillage : enlèvement de grosses écailles de matière.

Grippage : soudure de larges zones de surface de contact, avec arrachement massif de matière

Abrasion : action d'impuretés ou de déchets (poussières, sable, etc.).

Cavitation : implosion de micro bulle de gaz incondensables sous l'action d'une brutale chute de pression au sein d'un liquide. L'onde de choc génère des cratères dans la zone de cavitation (pompes, hélices, etc.).

Erosion : enlèvement de matière par l'impact d'un fluide ou de particules solides en suspension, ou de phénomènes électriques (arcs).

Faïençage : réseau de craquelures superficielles dues à la fatigue thermique.

Marquage : enfoncement localisé dû à une charge ponctuelle.

Rayage : trace laissée par le passage d'un corps dur.

Roulement et fatigue de contact : roulements à billes et à aiguilles se détériorent intrinsèquement par fatigue de contact. La pression de Hertz au contact bille / chemin de roulement fait apparaître des contraintes de cisaillement sur les bagues entraînant des fissures en surface puis débouchantes (piqûres).[6]

1.5.4.2.2 Frottement et usure

Ce mode de défaillance est inexorable dès lors que 2 surfaces en contact ont un mouvement relatif. La tribologie est la science expérimentale qui étudie ces phénomènes.

Dynamique de l'usure des lois de dégradation :

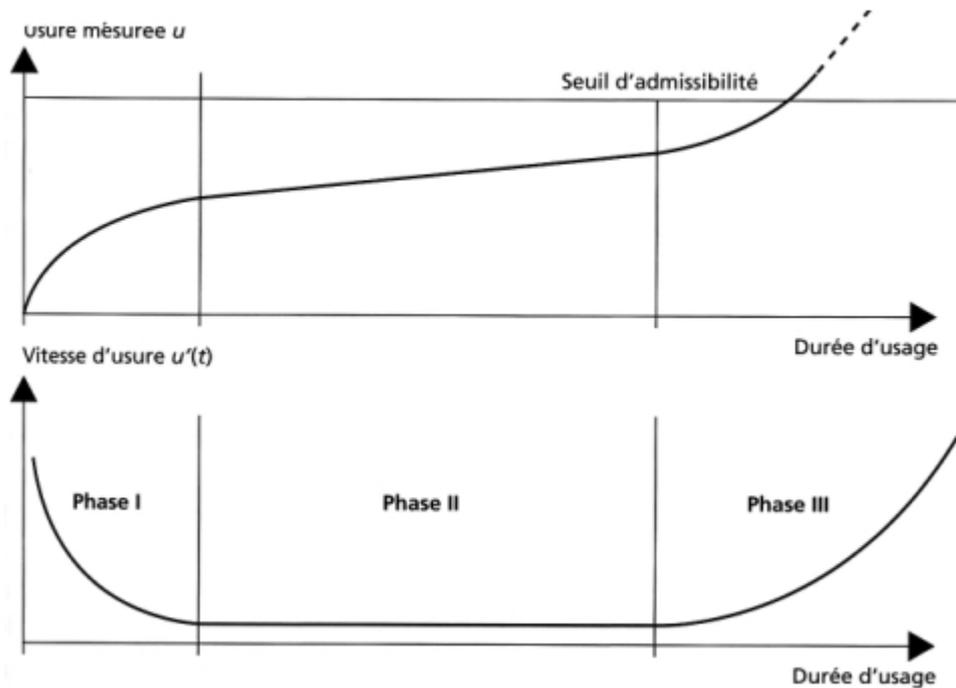


Figure 1.6 : Mécanisme d'usure par frottement [6]

A partir de 2 surfaces initiales :

- La phase I est constituée de l'abrasion des principales aspérités : c'est la période de rodage affectant les ondulations et la rugosité liées au mode d'obtention.
- La phase II est constituée d'une usure stable, linéaire dans le temps. L'usure est reportée principalement sur l'une des surfaces de contact.
- La phase III, dite usure catastrophique, consiste en émissions particulières ; débris engendrant un labourage de la surface la plus tendre et une dégradation rapide.

L'analyse des lubrifiants met en évidence cette succession de phases en caractérisant le nombre et la taille croissante des particules métalliques libérées. [6]

1.5.4.2.3 Défaillances mécaniques par déformations plastiques

Déformations plastiques sous contrainte mécanique : dues à un dépassement de la limite élastique du matériau. Une inspection des pièces vérifiant l'apparition d'une zone de striction peut prévenir le risque d'une rupture prochaine.

Déformation plastique sous contrainte thermique et dans le temps : c'est le fluage qui est une déformation apparaissant sous contrainte mécanique associée à des températures de service supérieures à 40% de la température de fusion. [6]

1.5.4.2.4 Défaillances mécaniques par rupture ductiles, fragiles ou de fatigue

Rupture ductile : elle provient après une phase de déformation plastique appréciable, allongement du matériau et striction au niveau de la rupture.

Rupture fragile : elle survient après une très faible déformation plastique. Elle est souvent l'effet d'un choc et est favorisée par la fragilité intrinsèque du matériau.

Rupture par fatigue : c'est quand une pièce a atteint sa limite d'endurance.

1.5.4.2.5 Les modes de défaillances électriques

Rupture de liaison électrique : c'est le plus souvent la conséquence d'une cause extrinsèque (choc, surchauffe, vibration).

Usure des contacts : les contacts, par différents modes de défaillances, sont souvent les « maillons faibles » d'un circuit électrique.

Claquage d'un composant, tels que des résistances, des transistors, etc.

Ces modes de défaillances présentent un caractère catalectique qui les rend difficile à prévenir. Par contre, il est possible d'agir sur les phénomènes extérieurs qui les génèrent, tels que les actions thermiques et vibratoires.

Dans le domaine électronique, le « déverminage » a pour but d'éliminer les composants ayant un point faible qui risquerait d'apparaître en fonctionnement. [6]

1.6 Diagnostic industriel

1.6.1 Définition du diagnostic

Le diagnostic est « l'identification de la cause probable de défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test ». La norme NF EN 13306 va plus loin, puisqu'elle indique que le diagnostic d'une panne est « l'ensemble des actions menées pour la détection de la panne, sa localisation et l'identification de la cause ». On va donc jusqu'à l'expertise de la défaillance.

La localisation de panne est l'ensemble des actions menées en vue d'identifier l'équipement en panne au niveau de l'arborescence appropriée.

Le diagnostic d'un système matériel désigne toute méthode permettant de déterminer si une machine est défaillante ou non et de déterminer l'origine de la panne à partir des informations relevées par observation, contrôles et tests.

Cette méthode peut se présenter sous diverses natures et divers supports. Il peut s'agir :

- d'un algorithme de détection électronique ou informatique
- d'un arbre de défaillance
- d'un simple test visuel

1.6.2 Conduite d'un diagnostic

Elle nécessite un grand nombre d'informations recueillies :

- auprès des utilisateurs (détection, manifestation et symptômes)
- dans les documents constructeurs et/ou dans les documents du service maintenance.

Mais il y a aussi l'expérience du terrain et le savoir-faire.

1.6.2.1 Manifestation de la défaillance :

La manifestation (ou effet) de la défaillance se manifeste par son amplitude (partielle ou complète), sa vitesse (elle est progressive ou soudaine), son caractère (elle est permanente, fugitive ou intermittente).

1.6.2.2 Symptômes

Événement ou ensemble de données au travers desquels le système de détection identifie le passage dans le fonctionnement anormal. C'est le seul élément dont a connaissance le système de surveillance au moment de la détection de la défaillance.

Les symptômes peuvent être observés in situ, sans démontage, par les utilisateurs de l'équipement ou par le maintenancier : VTOAG, mesures, défauts de qualité. Le VTOAG est l'utilisation naturelle des cinq sens de l'individu. Il ne faut jamais les négliger, car ils sont capables de contribuer à l'établissement d'un diagnostic.

- La vue (V) :
 - Détection de fissures, fuites, déconnexions,
 - Détection de dégradations mécaniques.
- Le toucher (T) :
 - Sensation de chaleur, de vibration,
 - Estimation d'un état de surface.
- L'odorat (O) :
 - Détection de la présence de produits particuliers,
 - «Odeur de brûlé», embrayage chaud,...
- L'auditif (A) :
 - Détection de bruits caractéristiques (frottements, sifflements).
- Le goût (G) :
 - Identification d'un produit (fuite).

Les symptômes peuvent aussi s'observer après démontage : mesures, observations de rupture, d'état de surface, contrôles non destructifs, etc.

1.6.2.3 Expérience

Lorsqu'il aborde un problème de défaillance sur un matériel, le maintenancier ne peut pas se permettre de naviguer à vue. Il connaît déjà les probabilités d'apparition de défaillance sur un matériel. Par exemple, sur un SAP (Système Automatisé de Production), on sait que c'est la partie opérative qui occasionnera le plus de pannes. Il est donc inutile de commencer son investigation par l'API (application programming interface).

1.6.2.4 Savoir-faire

Le diagnostic est construit comme une enquête policière : le maintenancier part des informations et symptômes, et à partir de son expérience, il formule des hypothèses affectées d'un niveau de probabilité plus ou moins important, teste ces hypothèses afin de se construire une certitude. Il dispose pour cela d'outils de diagnostic. Les plus utilisés sont :

- le diagramme Causes – Effets,
- l'arbre des causes,
- l'organigramme de diagnostic et/ou la fiche de diagnostic [7]

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné des définitions et des généralités sur la maintenance avec ses différents types et niveaux et nous avons aussi présenté le diagnostic industriel et sa conduite.

Chapitre 2 : Méthodes et outils de diagnostic

Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les différentes méthodes et outils de diagnostic, et les méthodes d'analyse quantitative et qualitative des défaillances ou on va insister sur la méthode de l'arbre de défaillance et la méthode AMDEC

2.1 Différentes méthodes du diagnostic

Si la prise de décision conduit à déclarer le processus défaillant, il convient alors de sélectionner une méthode de diagnostic.

Les méthodes de diagnostic sont divisées en deux grandes familles :

- les méthodes internes,
- les méthodes externes.

2.1.1 Méthodes internes

Ces méthodes sont basées sur des modèles physiques ou de comportement (modèles mathématiques) validés expérimentalement par les techniques d'identification de paramètres.

Ainsi, ces modèles permettent la mise en œuvre la méthode du problème inverse.

Le diagnostic de défaillance est possible en suivant en temps réel l'évolution des paramètres physiques ou bien en utilisant l'inversion de modèles de type « boîte noire ».

Ces méthodes regroupent en deux grandes familles :

- La méthode du modèle,
- Les méthodes d'identification de paramètres ou d'estimation du vecteur d'état.

2.1.2 Méthodes externes

Ces méthodes supposent qu'aucun modèle n'est disponible pour décrire les relations de cause à effet. La seule connaissance repose sur l'expertise humaine confortée par un solide retour d'expérience. Dans cette catégorie, on retrouve toutes les méthodes basées sur l'intelligence artificielle et/ou les approches probabilistes.

Les différentes méthodes utilisées pour remonter à la cause de la défaillance (isolation).

2.1.3 Méthodes inductives

Ces méthodes (méthode de l'arbre de défaillance, par exemple) correspondent à une approche montante où l'on identifie toutes les combinaisons d'événements élémentaires possibles qui entraînent la réalisation d'un événement unique indésirable.

2.1.4 Méthodes déductives

Pour ces méthodes, la démarche est bien sûr inversée puisque l'on part de l'événement indésirable et l'on recherche ensuite par une approche descendante toutes les causes possibles.

[5]

2.2. Analyses des défaillances et aide au diagnostic

L'analyse des défaillances peut s'effectuer :

- soit de manière quantitative puis qualitative en exploitant l'historique de l'équipement et les données qualitatives du diagnostic et de l'expertise des défaillances
- soit de manière prévisionnelle en phase de conception ou à posteriori, après retour d'expérience.

Tout le problème pour l'homme de maintenance est de savoir quelles défaillances traiter en priorité, certaines n'ayant que peu d'importance en termes d'effets et de coûts.

L'exploitation de l'historique va permettre d'effectuer ce choix. Or, certains diront qu'ils n'ont pas le temps d'exploiter l'historique des machines, qu'ils ont autres choses à faire (du correctif certainement !..). Le refus d'exploiter les historiques montre une totale méconnaissance des méthodes de gestion de la maintenance, et donc une totale désorganisation du service maintenance.

2.2.1 Analyse quantitative des défaillances

L'analyse quantitative d'un historique va permettre de dégager des actions d'amélioration, donc d'identifier les défaillances à approfondir afin de les corriger et les prévenir. Analyser quantitativement les résultats des diagnostics constitue ainsi un axe de progrès. Les données chiffrées à saisir doivent être les suivantes :

- dates des interventions correctives (jours, heures) et nombre N de défaillances ; ces éléments permettront de calculer les périodes de bon fonctionnement ($UT = Up\ Time$), les intervalles de temps entre deux défaillances consécutives ($TBF = Time\ Between\ Failures$) et leur moyenne ($MTBF$) ; ces données permettront de caractériser la fiabilité des équipements ;
- temps d'arrêt de production ($DT = Down\ Time$) consécutifs à des défaillances, y compris ceux des « micro-défaillances » ; tous les événements sont systématiquement consignés, même les plus anodins ; il est toujours plus simple de se rappeler d'une grosse panne que d'une micro-défaillance répétitive qui engendrera à terme une défaillance grave ; l'expérience montre que son oubli fausse complètement une étude de fiabilité ultérieure. Il est prouvé aussi que les micro-défaillances, qui appartiennent à la routine, donc qu'on oublie facilement, sont génératrices de perte de disponibilité, donc de productivité moindre et bien sûr de non qualité ; ces données permettront donc de caractériser la disponibilité des équipements ;
- durées d'intervention maintenance ($TTR = Time\ To\ Repair$) et leur moyenne ($MTTR$) ; ces données permettront de caractériser la maintenabilité des équipements. [7]

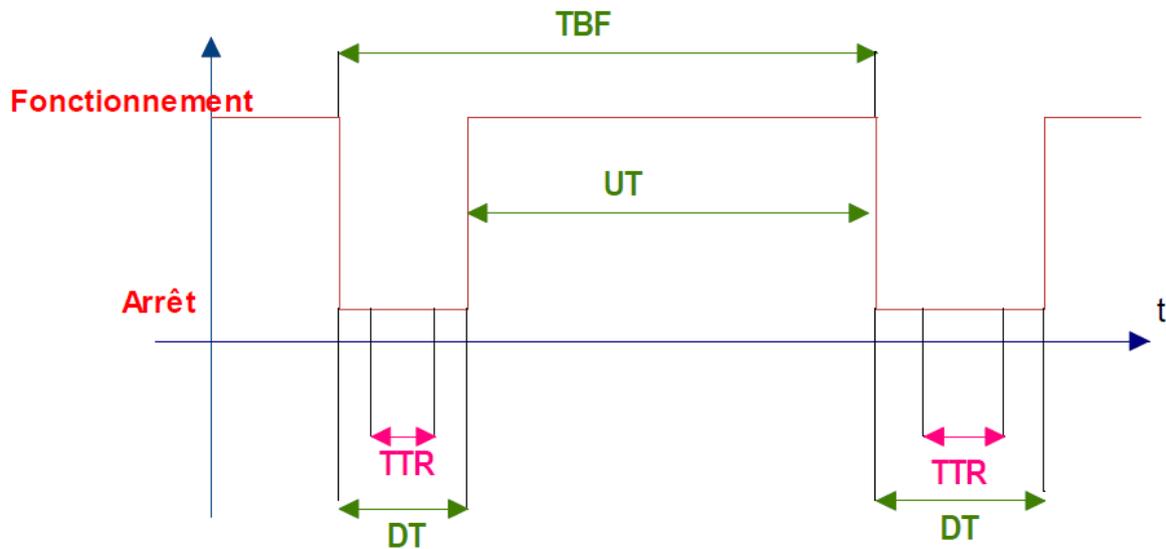


Figure 2.1 : Analyse des temps [7]

2.2.1.1 Méthode ABC (Diagramme de Pareto)

Parmi la multitude de préoccupations qui se posent à un responsable maintenance, il lui faut décider quelles défaillances doivent être étudiées et/ou améliorées en premier. Pour cela, il faut déceler celles qui sont les plus importantes et dont la résolution ou l'amélioration serait le plus rentable, en particulier en terme de coûts d'indisponibilité. La difficulté réside dans le fait que ce qui « est important » et que ce qu'il « l'est moins » ne se distinguent pas toujours de façon claire.

La méthode ABC apporte une réponse. Elle permet l'investigation qui met en évidence les éléments les plus importants d'un problème afin de faciliter les choix et les priorités. On classe les événements (pannes par exemple) par ordre décroissant de coûts (temps d'arrêts, coût financier, nombre, etc.), chaque événement se rapportant à une entité. On établit ensuite un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes ou de défaillances cumulés. Sur le schéma figure 2.2, on observe trois zones.

1. Zone A : 20% des pannes occasionnent 80% des coûts ;
2. Zone B : les 30% de pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires ;
3. Zone C : les 50% de pannes restantes ne concernent que 5% du coût global.

Conclusion : il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A.

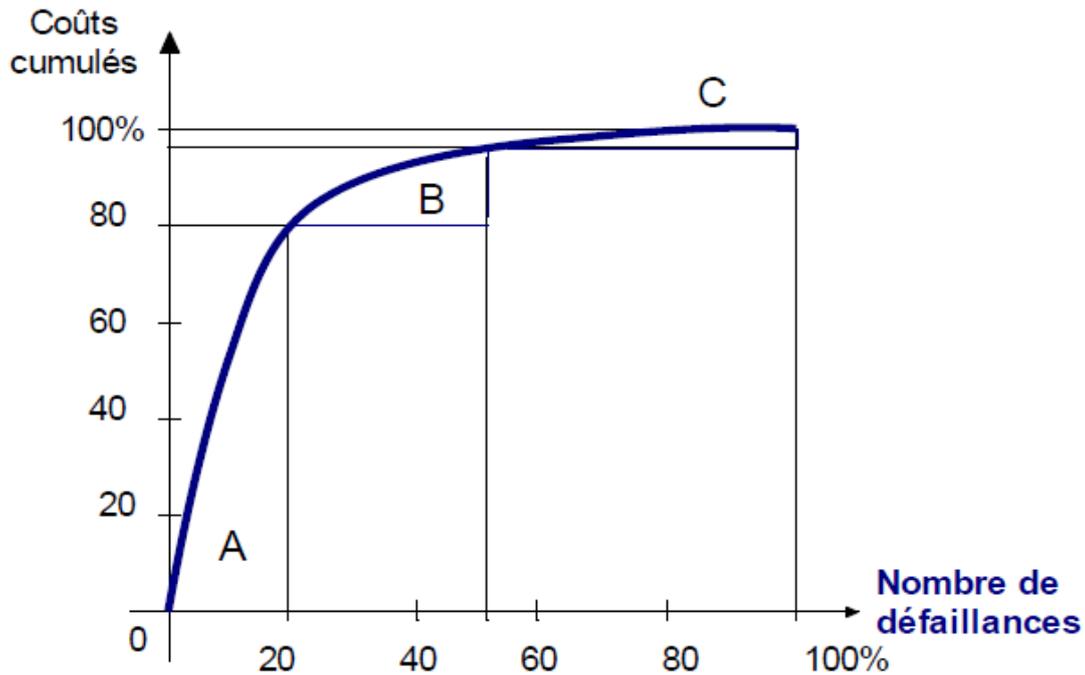


Figure 2.2 : Diagramme de Pareto ou courbe ABC [7]

En maintenance cette méthode est très utile pour déterminer les urgences ou les tâches les plus rentables, par exemple :

- S'attacher particulièrement à la préparation des interventions sur les défaillances les plus fréquentes et/ou les plus coûteuses (documentation, gammes opératoires, contrats, ordonnancement, etc...),
- Rechercher les causes et les améliorations possibles pour ces mêmes défaillances,
- Organiser un magasin en fonction des fréquences de sortie des pièces (nombre de pièces et emplacement),
- Décider de la politique de maintenance à appliquer sur certains équipements en fonction des heures et des coûts de maintenance.

Attention toutefois : cette méthode ne résout pas les problèmes, mais elle attire l'attention du technicien sur les groupes d'éléments à étudier en priorité. [7]

2.2.1.2 Diagrammes de Pareto en N, Nt et t

Le service maintenance peut exploiter cette méthode en allant beaucoup plus loin :

- On dresse un tableau regroupant les sous-ensembles, le nombre de défaillances N, les temps d'arrêt par sous-ensemble Nt et la moyenne des temps d'arrêt t ;
- On élabore les diagrammes en bâtons N, Nt et t ; ils permettront de déterminer la priorité de prise en charge des sous-ensembles par le service maintenance,
- Le graphe en N oriente vers l'amélioration de la fiabilité ;

- Le graphe en Nt est un indicateur de disponibilité, car Nt estime la perte de disponibilité de chaque sous-ensemble ;
- Le graphe en t oriente vers la maintenabilité, c'est à dire l'amélioration de l'aptitude à la maintenance. [7]

2.2.1.3 Abaque de Noiret

L'abaque de Noiret est un outil de calcul scientifique qui permet d'orienter le choix de la politique de maintenance en fonction

- des caractéristiques de l'équipement
- de son utilisation

Le résultat en est une recommandation offrant trois options possibles :

- préventif recommandé
- préventif possible
- préventif non nécessaire

Cependant, ce résultat doit être complété par une analyse économique portant sur le coût des différentes maintenances et sur le retour sur investissement estimé que peut apporter une maintenance préventive.

Il ne s'agit que d'un outil d'aide à la décision et non pas d'un outil de décision.

Principe

L'abaque de Noiret est basé sur les critères suivants :

- a) l'âge de l'équipement
- b) son interdépendance : dans quelle mesure est-il vital pour la production
- c) son coût
- d) sa complexité et son accessibilité
- e) sa robustesse et sa précision
- f) son origine : France ou Etranger
- g) son utilisation dans le temps
- h) les conséquences de ses défaillances sur les produits
- i) les délais de production qui lui sont liés

Chaque critère se décline en plusieurs options qui chacune correspond à un certain nombre de points. Les points ainsi obtenus sont additionnés.

Remarque : un seul choix n'est possible par critère ; il faut donc prendre celui qui est le plus représentatif de l'équipement.

A) l'âge de l'équipement

Age (ans)	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Points	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90

Tableau 2.1 : nombre de points correspondant à l'âge de l'équipement

Formule de calcul : Points = 90 – âge*4

0 ans = moins d'un an

B) Interdépendance

Critère	Points
Matériel essentiel et marche continue	70
Matériel essentiel et marche semi discontinue	60
Matériel essentiel et marche discontinue	50
Matériel sans tampon aval ou amont	40
Matériel semi indépendant	30
Matériel indépendant	20
Matériel double (ou plus)	10

Tableau 2.2 Nombre de point correspondant à l'importance de l'équipement

C) Coût

Critère en € Points	Critère en € Points
Moins de 3000	5
[3000 à 15000[15
[15000 à 30000[25
[30000 à 45000[35
[45000 à 150000[45
150000 ou plus	55

Tableau 2.3 : Nombre de points correspondant au cout de l'équipement

D) Complexité et accessibilité

Critère Points	Critère Points
Matériel peu complexe et accessible	5
Matériel très complexe et accessible	25
Matériel peu complexe et inaccessible	25
Matériel très complexe et inaccessible	45

Tableau 2.4 : Nombre de points correspondant à la complexité et l'accessibilité de l'équipement

E) Robustesse et sa précision

Critère Points	Critère Points
Robuste	5
Courant	10
Robuste et de précision	15
Peu robuste (délicat)	20
Travail en surcharge	25
Délicat et de précision	30

Tableau 2.5 : Nombre de points correspondant à la robustesse et la précision de l'équipement

G) Utilisation

Critère Points	Critère Points
Marche à 1 poste de travail	75
Marche à 2 postes de travail	175
Marche à 3 postes de travail	250

Tableau 2.6 : Nombre de points correspondant à l'utilisation de l'équipement dans le temps

H) Perte de produits**(Conséquence sur les produits en cas de défaillance machine)**

Critère Points	Critère Points
Produits vendables	10
Produits à reprendre	35
Produits perdus	55

Tableau 2.7 : Nombre de points correspondant aux conséquences des défaillances sur la machine

I) Délais

Critère Points	Critère Points
Délai libre (constitution de stock)	25
Délai serré	100
Délai impératif (risque de pénalités de retard)	150
Délai impératif (risque de pénalités de perte client)	225

Tableau 2.8 : Nombre de points correspondant aux délais de production qui lui sont liés

2.2.1.4 Tableau à coefficient

Basé sur les mêmes critères que l'abaque de Noiret mais avec des points coefficients en considérant que le total des points obtenus se situait dans trois zones :

- Première zone en dessous de 500 points : pas de nécessité du préventif ;
- Deuxième zone entre 500 et 540 points : possibilité du préventif ;
- Troisième zone au-dessous de 540 points : le préventif est nécessaire ;

2.2.2 Analyse qualitative des défaillances**2.2.2.1 Diagramme Cause-Effets**

Cet outil a été créé par Ishikawa, professeur à l'Université de TOKYO dans les années 60 et concepteur d'une méthode de management de la qualité totale. Le diagramme causes-effet est une représentation graphique du classement par familles de toutes les causes possibles pouvant influencer un processus. Ces familles de causes au nombre de 5 engendrent la non qualité dans un processus de fabrication. Leur nom commence par la lettre M d'où l'appellation 5M. Ishikawa a proposé une représentation graphique en « arête de poisson »

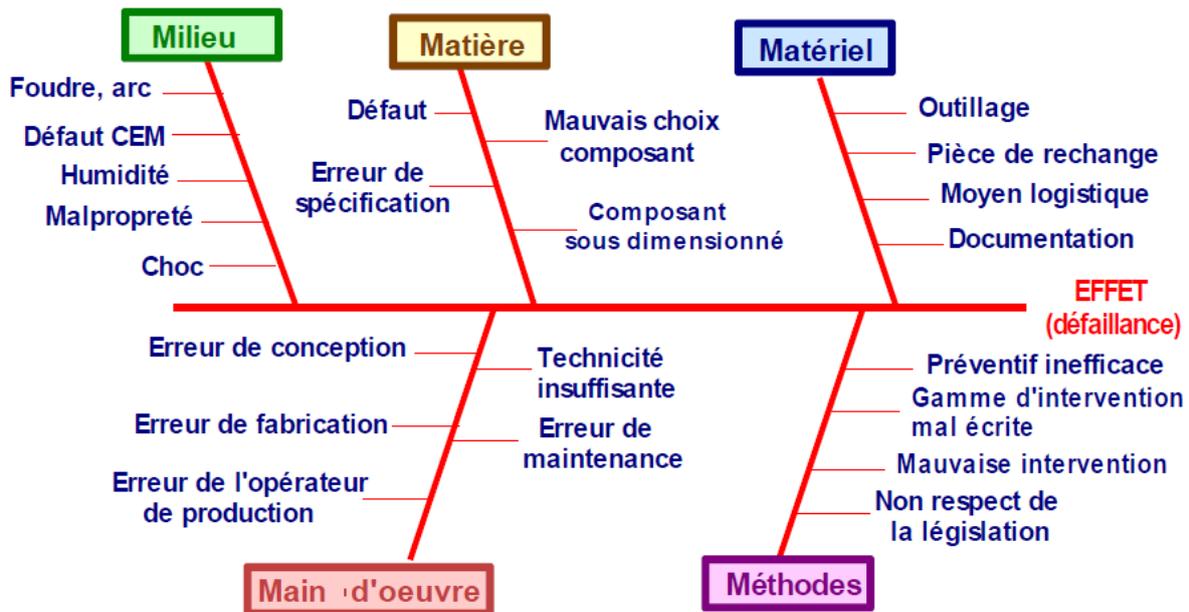


Figure 2.3 : Diagramme d'Ishikawa [7]

Le diagramme Causes-Effet est donc l'image des causes identifiées d'un dysfonctionnement potentiel pouvant survenir sur un système. Il se veut le plus exhaustif possible en représentant toutes les causes qui peuvent avoir une influence sur la sûreté de fonctionnement. Les 5 grandes familles ou 5 facteurs primaires sont renseignés par des facteurs secondaires et parfois tertiaires ; Les différents facteurs doivent être hiérarchisés.

L'intérêt de ce diagramme est son caractère exhaustif. Il peut aussi bien s'appliquer à des systèmes existants (évaluation) qu'à des systèmes en cours d'élaboration (validation). On pourra adjoindre au diagramme précédent des facteurs secondaires et tertiaires qui compléteront les facteurs primaires :

On peut adapter cet outil à l'aide au diagnostic de la manière suivante :

- définition de l'effet étudié en regroupant le maximum de données.
- recensement de toutes les causes possibles ; le brainstorming¹ est un outil efficace pour cette phase de recherche.
- classement typologique des causes.
- hiérarchisation des causes dans chaque famille par ordre d'importance. [7]

2.2.2.2 Arbre de défaillances

Un arbre de défaillances (aussi appelé arbre de pannes ou arbre de fautes) est une technique d'ingénierie très utilisée dans les études de sécurité et de fiabilité des systèmes statiques (un système statique est un système dont la défaillance ne dépend pas de l'ordre de défaillance de ses composants). Cette méthode consiste à représenter graphiquement les combinaisons

possibles d'événements qui permettent la réalisation d'un événement indésirable prédéfini. Une telle représentation graphique met donc en évidence les relations de cause à effet.

C'est un diagramme déductif qui va de l'effet vers la cause et qui a pour objet de rechercher toutes les combinaisons de défaillances élémentaires (primaires) pouvant déboucher vers une panne.

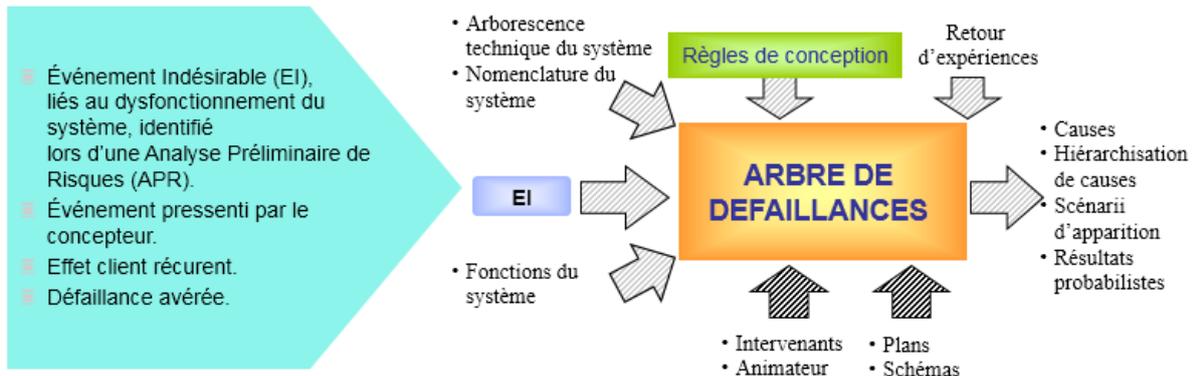


Figure 2.4 : Arbre de défaillance [7]

a- Symbolisme

Cet outil utilise un symbolisme qu'on utilise également sur les circuits logiques. On parle aussi de logigramme de dépannage. Ce symbolisme est donné à la figure 2.5

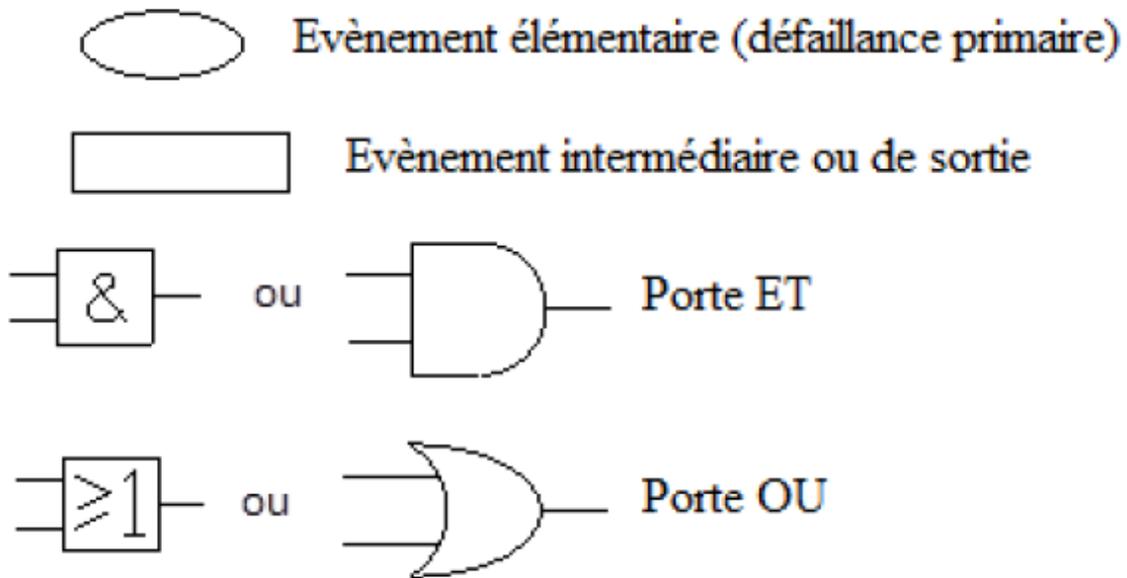


Figure 2.5 : Symbolisme des arbres de défaillances [7]

b- Construction de l'arbre de défaillances

Pour construire un arbre de défaillance, on peut utiliser l'organigramme de la figure 2.6

Notons que cette construction est tout à fait qualitative.

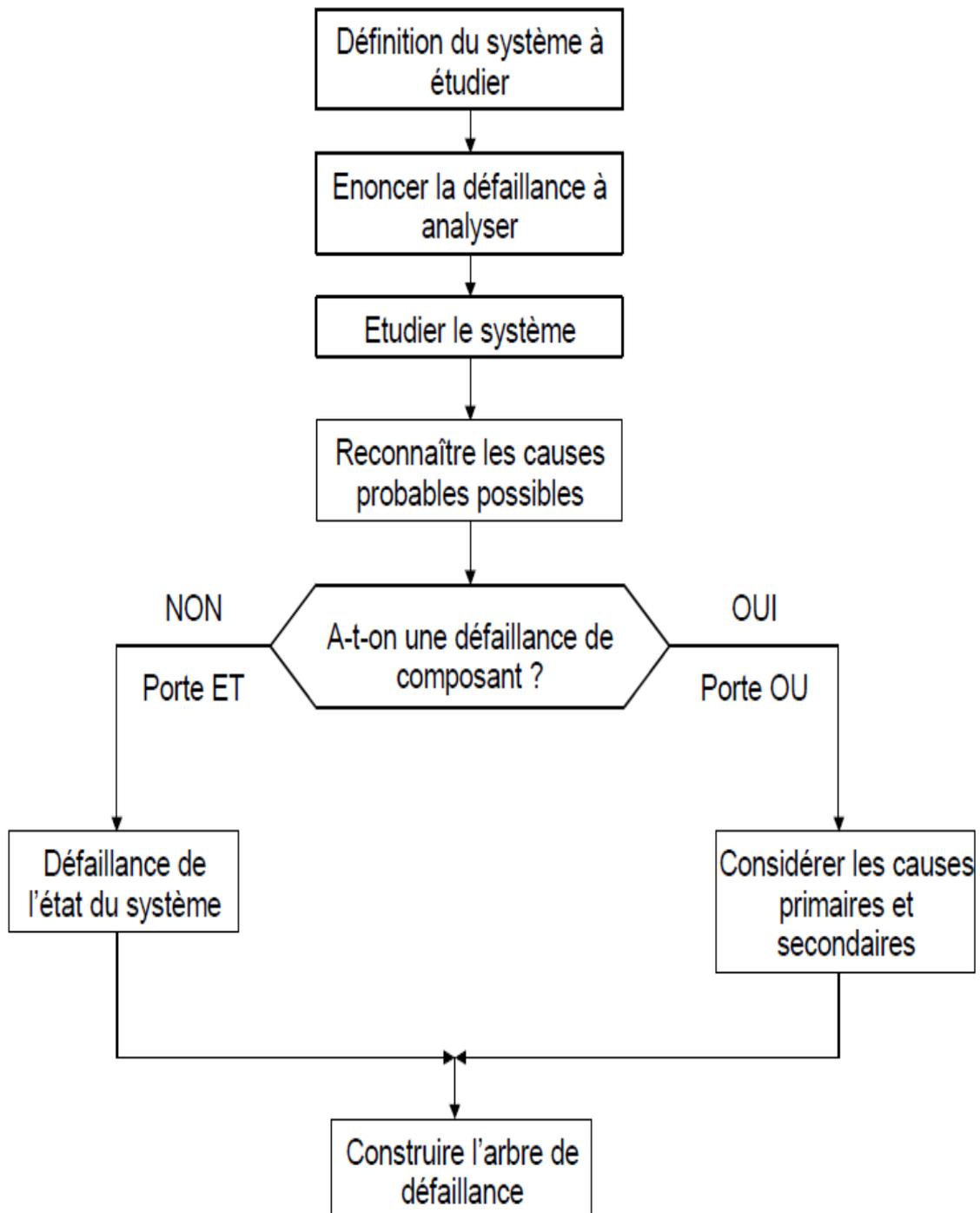


Figure 2.6 : Construction de l'arbre de défaillance [7]

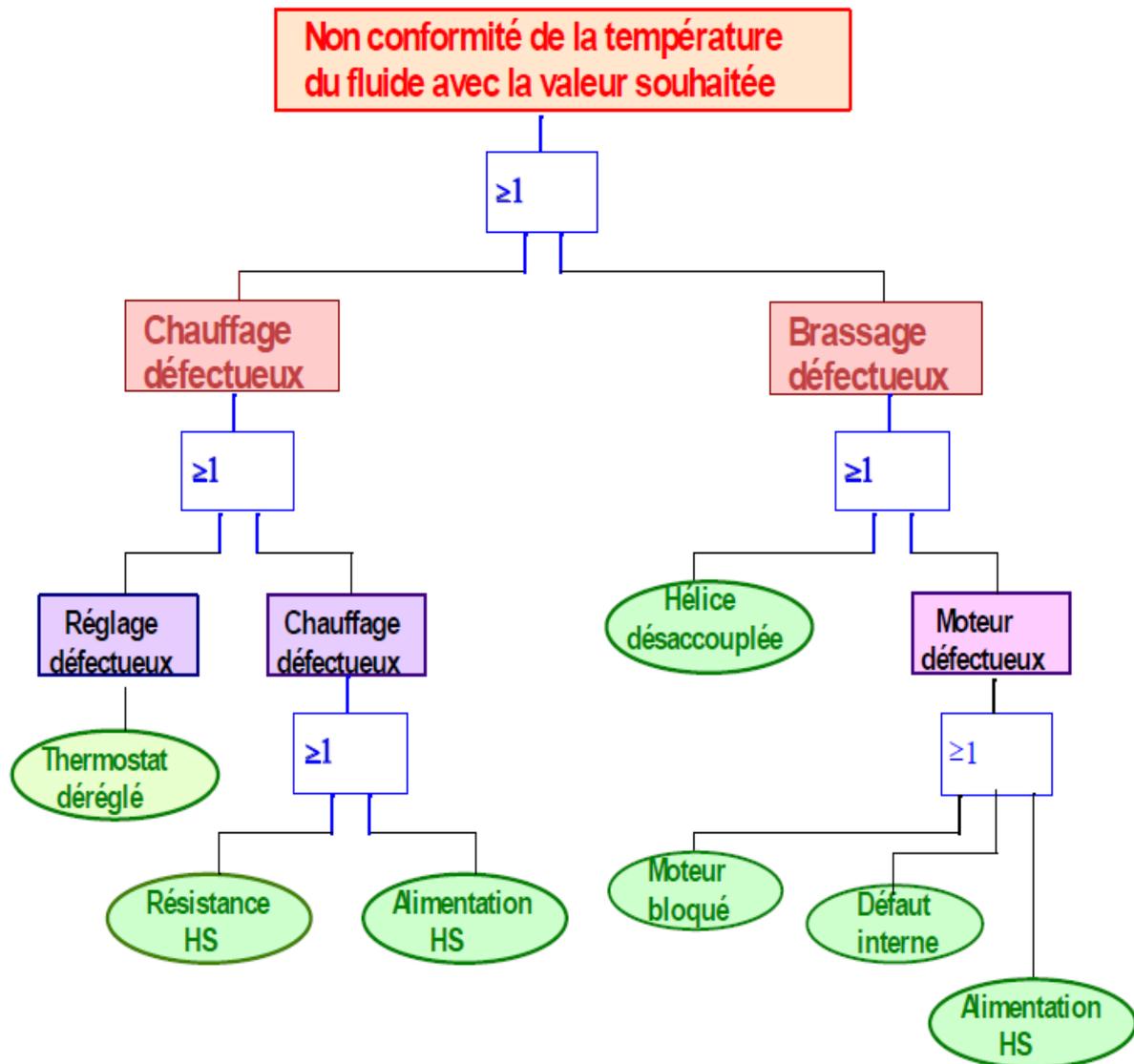


Figure 2.7 : Arbre de défaillance « température fluide insuffisante » [7]

2.2.2.3. Détermination de toutes les causes menant à l'évènement indésirable (EI)

Ils sont organisés soit en panne simple soit en combinaison de pannes.

Ils touchent des :

- défaillances de commande (rupture d'alimentation, défaillance logicielle, etc.),
- défaillances intrinsèques (conception, utilisation, agression extérieure, erreur humaine, process, etc.).

Les défaillances prises en compte sont fonction des limites de l'étude :

- agressions extérieures,
- problèmes de process,
- erreur humaine.

Un système est soit :

non commandé, mauvaise commande ou pas de commande. Une commande peut être :

- un flux : information (électrique, électromagnétique, etc.), matière (gaz, liquide, etc.).

Ex : pas d'alimentation (carburant, électricité etc.) à l'entrée d'un moteur. Pas de commande issue d'un calculateur. Mauvaise information issue d'un capteur.

- une interaction mécanique : contact, tension, support, etc.

Ex : pas de transmission du mouvement de translation ensemble bielle/manivelle

2.2.2.4. Victime d'une Défaillance Intrinsèque (DI)

- conception (produit) (Ex : matériel inadapté, etc.).
- fabrication (process) :
- machine (Ex : Précision insuffisante, etc.),
- homme (Ex : Soudure non conforme, etc.).
- utilisation :
 - usure, prise de jeu, etc.
 - agressions extérieures (Ex : thermique, corrosion, électromagnétisme, vibration, électrostatisme, hygrométrie, etc.) combinées à la sensibilité du système à l'agression considérée.
 - erreur humaine (Ex : mauvaise opération, etc.).

2.2.2.5. Avantage

L'analyse par arbre de défaillances est la plus couramment utilisée dans le cadre d'études de fiabilité, de disponibilité ou de sécurité des systèmes. Elle présente en effet un certain nombre d'avantages non négligeables par rapport aux autres méthodes, à savoir :

- son aspect graphique tout d'abord, caractéristique particulièrement importante, constitue un moyen efficace de représentation de la logique de combinaison des défaillances. Il participe largement à la facilité de mise en œuvre de la méthode et à la compréhension du modèle. Ainsi, il est un excellent support de dialogue pour des équipes pluridisciplinaires.
- le processus de construction de l'arbre basé sur une méthode déductive permet à l'analyste de se focaliser uniquement sur les événements contribuant à l'apparition de l'événement redouté.
- une fois la construction de l'arbre terminée, deux modes d'exploitation sont possibles :

- l'exploitation qualitative servant à l'identification des combinaisons d'événements critiques, la finalité étant de déterminer les points faibles du système ;
- l'exploitation quantitative permettant de hiérarchiser ces combinaisons d'événements suivant leur probabilité d'apparition, et estimer la probabilité de l'événement sommet, l'objectif in fine étant de disposer de critères pour déterminer les priorités pour la prévention de l'événement redouté.
- Par opposition aux méthodes de simulation, l'approche analytique offerte par l'arbre de défaillances a l'avantage de pouvoir réaliser des calculs rapides (avantage tout à fait relatif au vu de l'évolution permanente de l'informatique) et exacts.
- La méthode permet d'estimer la probabilité non seulement de l'événement redouté, mais aussi celle des portes intermédiaires, à partir de celle des événements de base. Il est également possible de faire de la propagation d'incertitudes sur les données d'entrée, et du calcul de facteurs d'importance.
- La taille de l'arbre de défaillances est proportionnée à la taille du système étudié, et pas exponentielle en fonction de cette taille.

2.2.2.6 Limite

L'utilisation de l'arbre de défaillances devient inefficace ou difficilement applicable lorsque les caractéristiques suivantes apparaissent :

- dépendance entre les événements
- les calculs de probabilité d'occurrence effectués par le biais de l'arbre de défaillances sont basés sur une hypothèse d'indépendance des événements de base entre eux. Par exemple, la probabilité d'apparition d'un événement de base ne peut pas dépendre de l'apparition d'autres événements de base.
- notion d'événements temporisés
- l'arbre de défaillances ne rend pas compte de l'aspect temporel des événements. Il ne peut donc considérer ni les dépendances fonctionnelles, ni les états passés. De plus, il ne permet pas de prendre en compte un ordre imposé dans lequel des événements doivent se produire pour induire une défaillance.
- système dégradé
- l'arbre de défaillances est binaire. Un événement se produit ou ne se produit pas, mais aucune notion de capacité ou d'efficacité ne peut intervenir.

Par exemple, une vanne sera considérée comme ouverte ou fermée, mais sans pouvoir déterminer d'état intermédiaire.

2.3 Analyse prévisionnelle des défaillances (AMDEC)

2.3.1 Définition

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement des produits et des équipements. Ce principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels d'erreurs susceptibles de se produire à toutes les phases de réalisation d'un produit. C'est une méthode précieuse qui permet à l'entreprise de valider, tout au long de la construction du produit, sa qualité et sa fiabilité :

- elle identifie les modes de défaillance des composants, en évalue les effets sur l'ensemble des fonctions et en analyse les causes.
- elle évalue l'impact, ou criticité, de ces modes de défaillances sur la sûreté de fonctionnement.
- en phase de conception, elle est associée à l'analyse fonctionnelle, pour la recherche des modes de défaillances spécifiques à chaque fonction ou contrainte des composants.
- dans le cas d'analyse sur des procédures ou chaînes de fabrication, elle permet de localiser les opérations pouvant conduire à élaborer un produit ne respectant pas le cahier des charges, ce qui permettra par la suite de limiter les rebuts.
- appliquée à un groupe de travail pluridisciplinaire, elle est recommandée pour la résolution de problèmes mineurs dont on veut identifier les causes et les effets ; elle contribue donc à la construction et à l'amélioration de la qualité.
- il existe plusieurs types d'AMDEC dont les deux suivants :
- AMDEC machine (ou moyen de production) : on identifie les défaillances du moyen de production dont les effets agissent directement sur la productivité de l'entreprise. Il s'agit donc de l'analyse des pannes et de l'optimisation de la maintenance.
- AMDEC procédé : on identifie les défaillances du procédé de fabrication dont les effets agissent directement sur la qualité du produit fabriqué (les pannes ne sont pas prises en compte). [7]

2.3.2 Historique

Elle trouve son origine dans les années 1950, sous le nom de FMEA (Failures Modes and Effects Analysis). Utilisée exclusivement aux USA et au Japon pour améliorer la fiabilité des produits de haute technicité (armement, avionique, spatial), elle fait son apparition en Europe en 1970 dans l'industrie nucléaire (du militaire vers le civil).

Le grand essor de l'AMDEC est dû à sa mise en œuvre généralisée dans l'industrie automobile (à partir de 1979 chez Ford et 1982 chez les constructeurs français) ; tous les sous-traitants ont dû suivre. Conformément au QS 9000 (équivalent de l'ISO 9000 pour l'automobile), les fournisseurs automobiles devaient utiliser la planification qualité du procédé (APQP), incluant l'outil AMDEC et développant les plans de contrôle. Les industries électroniques, puis les industries mécaniques se sont inscrites ensuite dans cette démarche (apparition de la notion de sécurité des biens et des personnes). [7]

2.3.3 Démarche de la méthode AMDEC

L'AMDEC est une technique d'analyse exhaustive et rigoureuse de travail en groupe : chacun y met en commun son expérience et sa compétence. Mais, pour la réussir, il faut bien connaître le fonctionnement du système qui est analysé ou avoir les moyens de se procurer l'information auprès de ceux qui la détiennent. Elle comporte cinq étapes :

- étape 1 : préparer l'étude.
- étape 2 : réaliser l'analyse fonctionnelle.
- étape 3 : réaliser l'analyse qualitative des défaillances.
- étape 4 : évaluer la criticité.
- étape 5 : définir et suivre un plan d'actions correctives et préventives.

Etape 1 : Préparation de l'étude

Lors de la première étape de préparation, il faudra d'abord valider l'objectif de l'étude : pourquoi effectue-t-on cette étude ? L'objectif va dépendre du contexte de l'étude :

- amélioration de la fiabilité du produit,
- amélioration de la disponibilité du moyen de production,
- amélioration de la disponibilité du service.

On commence tout d'abord par constituer le groupe de travail. L'AMDEC fait appel à l'expérience, pour rassembler toutes les informations que détiennent les uns et les autres, mais aussi pour faire évoluer les conclusions que chacun en tire et éviter que tous restent sur leur a priori. Les méthodes de travail en groupe doivent être connues et pratiquées afin d'assurer une efficacité optimale en groupe. C'est un critère de réussite essentiel.

A. Acteurs de la méthode

1. Le demandeur (ou pilote) : c'est la personne ou le service qui prend l'initiative de déclencher l'étude. Il est responsable de celle-ci jusqu'à son aboutissement. Il en définit le sujet, les critères et les objectifs. Il ne doit pas être le concepteur pour garantir l'indépendance des jugements.

2. Le décideur : c'est la personne responsable dans l'entreprise du sujet étudié, et qui, en dernier recours et à défaut de consensus, exerce le choix définitif. Il est responsable et décideur des coûts, de la qualité et des délais.
3. L'animateur : c'est le garant de la méthode, l'organisateur de la vie du groupe. Il précise l'ordre du jour des réunions, conduit les réunions, assure le secrétariat, assure le suivi de l'étude. Très souvent, c'est un intervenant extérieur, ou du moins extérieur au service de façon à pouvoir jouer les candides.
4. Le groupe de travail : 2 à 5 personnes en général, responsables et compétentes, ayant la connaissance du système à étudier et pouvant apporter les informations nécessaires à l'analyse (on ne peut bien parler que de ce que l'on connaît bien). Selon l'étude (produit, procédé ou moyen de production), ce seront des représentants du design, du marketing, du bureau d'études, du service qualité, du service achat, de la production, de la maintenance ou des experts du domaine étudié.

B. Planification des réunions

Comme il est difficile de réunir 5 à 8 personnes d'un certain niveau (elles sont souvent peu disponibles), on planifie les cinq phases, de la « préparation » jusqu'aux « actions menées » en respectant une fréquence d'une demi-journée tous les 15 jours en général.

C. Limitations de l'étude

Il est nécessaire de limiter le champ et la durée de l'étude. Un champ d'étude trop important conduira à un exercice harassant pour un résultat médiocre. Une durée d'étude de 2 à 3 mois est tout à fait raisonnable.

D. Constitution du dossier AMDEC

Dans cette phase, on effectue la collecte des données nécessaires à l'étude :

- cahier des charges ou spécifications du produit,
- plans, nomenclature, gammes de fabrication, spécifications,
- calculs et leur vérification (chaîne de cotes),
- contraintes de fabrication,
- défaillances observées (retours clients, rebut de production),
- essais de fiabilité, résultats de test,
- relevés statistiques d'exploitation, historiques des pannes,
- probabilités de défaillances liées à la technologie,
- objectifs qualité.

E - Fin de l'étape 1 : fiche de synthèse

Cette fiche accompagne l'étude tout au long de sa durée. On y retrouve toute la phase d'initialisation ainsi que le suivi de l'étude. Elle est à remplir par l'animateur lors d'un entretien avec le demandeur et complétée avec le décideur. Son but est de formaliser sur un document les points clés de l'étude AMDEC.

Etape 2 : Analyse fonctionnelle

L'objectif final de l'étape 2 est la réalisation d'un dossier complet sur le système étudié. Ce dossier comprend :

- la feuille de synthèse de l'état actuel de l'étude AMDEC,
- ce que l'on connaît sur les fonctions à étudier,
- ce que l'on connaît sur l'environnement du système,
- les objectifs de qualité et de fiabilité (conception), le TRS (en production), etc.
- l'analyse fonctionnelle,
- les historiques (lien GMAO-AMDEC),
- le plan de maintenance préventive,
- le conditionnement du produit (marketing).

Etape 3 : Analyse qualitative des modes de défaillance

A partir de l'analyse fonctionnelle, la démarche consiste en :

- une recherche des modes de défaillance (par exemple perte de fonction, dégradation d'une fonction, pas de fonction, fonction intempestive),
- une recherche des causes (choix pouvant être guidé par la gravité des conséquences),
- une étude des effets.

A – Recensement des modes de défaillance

Exemples : perte de fonction, dégradation d'une fonction, pas de fonction, fonction intempestive.

B – Recherche des causes de défaillances

Une cause est l'anomalie initiale pouvant entraîner le mode de défaillance. Dans cette phase, il faut chercher de manière exhaustive les causes pouvant déclencher l'apparition potentielle du mode de défaillance. Le diagramme d'Ishikawa est l'outil de recensement par excellence.

C – Etude des effets

Un effet est une conséquence défavorable que le client pourrait subir (mécontentement, défaut qualité, arrêt de production). Selon le type d'AMDEC réalisée, le client est l'utilisateur final ou toute opération postérieure à celle exécutée au moment de l'apparition de l'effet. Chaque mode de défaillance provoque un effet, c'est à dire qu'il y a une conséquence sur la fonction, le niveau

supérieur, sur l'étape suivante ou sur le système environnant. En fait, il est souvent difficile de différencier mode, effet et cause de défaillance.

Il vaut mieux raisonner par niveau d'analyse (figure 2.8).

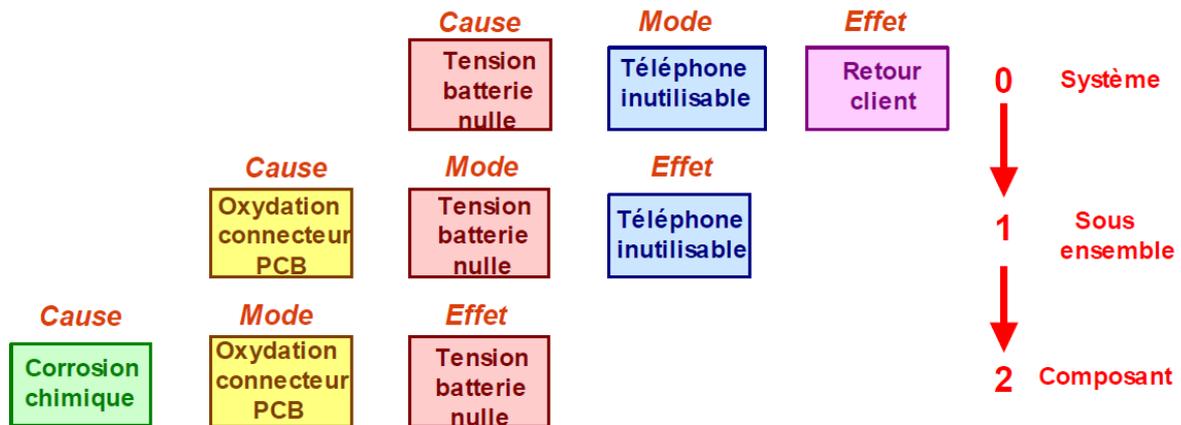


Figure 2.8 : Analyse causes de défaillance [7]

D – Fin de l'étape 3 : la grille AMDEC

Un des moyens de rassembler les idées du groupe de travail est la grille AMDEC. Elle concrétise l'analyse sous la forme d'un tableau faisant apparaître, pour chaque élément traité, ses modes de défaillance, leurs causes, leurs effets et les moyens de les détecter.

La grille AMDEC typique comprend 7 colonnes : le nom de l'élément ou du composant, la fonction, le mode de défaillance, la cause de la défaillance, son effet, sa non-détection, la cotation de la criticité. Elle peut être complétée par une colonne indiquant les actions préventives pouvant être apportées.

On différencie souvent les modes, causes et effets par des couleurs afin de bien les mettre en évidence. L'ordre « mode, cause, effet » est volontaire. Les effets du mode ainsi que la non-détection seront ressentis directement par l'utilisateur. La cotation de la fréquence, de la gravité et de la non-détection va permettre une hiérarchisation des différentes défaillances.

Etape 4 : Evaluation de la criticité

A – Notion de criticité

La criticité permet de quantifier la notion de risque. Dans une étude AMDEC, elle est évaluée à partir de la fréquence de la défaillance, de sa gravité et de sa probabilité de non détection.

Elle détermine le choix des actions correctives et préventives à entreprendre et fixe la priorité entre ces actions. C'est un critère pour le suivi de la fiabilité prévisionnelle de l'équipement.

La cotation de la criticité permet une hiérarchisation des différentes défaillances et donc de planifier les recherches d'amélioration en commençant par celles qui ont la criticité la plus élevée. On prend alors les décisions qui s'imposent et on met en œuvre ces améliorations.

Un programme de suivi est ensuite nécessaire si l'on veut pouvoir évaluer l'efficacité des améliorations : nouvelle mesure de la criticité et comparaison avec la valeur antérieure.

B – Cotation de la criticité

La cotation s'effectue sur la base de trois critères : la fréquence F d'apparition de la cause de défaillance, la gravité G de ses effets et sa non-détection N.

- Fréquence F d'apparition de la cause de défaillance : La cause de défaillance peut apparaître à l'utilisation, à la fabrication ou à la conception d'un produit. C'est la probabilité P pour que la cause se produise et qu'elle entraîne le mode de défaillance concerné. On écrit que $P = P1 \times P2$
- P2 avec P1 = probabilité que la cause de défaillance survienne et P2 = probabilité que la défaillance survienne lorsque la cause est présente.
- Gravité G des effets de la défaillance : La gravité est une évaluation de l'importance des effets de la défaillance potentielle sur le client. La cause n'a pas d'incidence sur la gravité de la défaillance.
- Non-détection N de la défaillance : Ce critère rend compte de la probabilité qu'a la défaillance de ne pas être détectée par l'utilisateur lors de contrôles (lors de la conception d'un produit, de sa fabrication ou de son exploitation) alors que la cause et le mode sont apparus.

* Cotation des critères :

Pour évaluer ces trois critères, on utilise des grilles de cotation qui peuvent être définies par l'entreprise ou alors reprises dans certains ouvrages spécialisés.

* Expression de la criticité

On obtient la criticité C par la formule :

$$C = G \times F \times N$$

Etape 5 : Définir et suivre un plan d'action préventive

Dans ce plan d'action vont figurer les actions préventives à mener pour diminuer le coefficient de criticité. Une diminution de la criticité pourra être obtenue en jouant sur un (ou plusieurs) terme(s) du produit (F x G x N).

Les actions seront d'ordre préventif ou correctif selon le cas. Elles visent à supprimer les causes de défaillance. L'essentiel de l'action doit porter sur la prévention d'une part et la diminution de la fréquence d'autre part. Pour suivre la mise en place des actions, on utilise un tableau AMDEC appelé aussi fiche de synthèse de l'AMDEC. Après la mise en place des actions, on évaluera la nouvelle criticité des défaillances. Si la criticité n'est toujours pas satisfaisante, on définira d'autres actions préventives.[7]

2.3.4 Apports et limites de l'AMDEC

2.3.4.1. Apports

A- apports indirects :

- augmentation du rendement.
- centralisation de la documentation technique.
- mise en place de fiches de suivi des visites de l'exploitant.

B - Impact sur la maintenance

- optimisation des couples causes/conséquences.
- amélioration de la surveillance et des tests.
- optimisation de la maintenance.

C - Impact sur la qualité

- meilleure adéquation matériel/fonctionnel.
- meilleure efficacité en développement/fabrication.
- meilleure efficacité en utilisation.

2.3.4.2 Erreurs à éviter

- animateur du groupe de travail non compétent.
- groupe de travail trop important.
- se focaliser sur une défaillance externe à l'étude (sujet mal défini).
- confondre AMDEC Moyen de production avec AMDEC Procédé.
- oublier le client.

2.3.4.3 limites de la méthode AMDEC

Bien que d'un usage généralisé, il serait inexact de prétendre que l'AMDEC est un outil universel. En fait l'AMDEC présente quelques limites :

- Elle est tributaire d'une bonne analyse fonctionnelle ;
- Elle impose des travaux et une méthodologie demandant une préparation, une rigueur et parfois des moyens importants pour l'entreprise.

Même si sa vocation est le traitement préventif des défaillances, elle doit s'appuyer sur un savoir-faire existant dans l'entreprise et à partir duquel le groupe de travail peut extrapoler ses recherches. [7]

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes méthodes et outils de diagnostic, nous nous sommes intéressés aux différents moyens d'analyses quantitatives et qualitatives, et en particulier l'arbre de défaillance et la méthode AMDEC

Chapitre 3 : Présentation de l'entreprise

Introduction

La Tassili Airlines (TAL) Spa est une compagnie aérienne Algérienne qui fut créée en 1998, sous forme de joint-venture entre SONATRACH SPA (51%) et Air Algérie (49%). Les premiers vols ont été effectués en avril 1999.

C'est à elle que l'Etat a fait appel en 2005 pour faire face à l'invasion du criquet pèlerin, d'où les pouvoirs publics ont décidé de créer une entité autonome dédiée au travail aérien agricole baptisé « TASSILI AGRO AERIEN (TAA) Spa » en tant que projet au sein groupe TAL.

En 2005, elle devient une filiale à 100 % de SONATRACH après le rachat des actions que détient Air Algérie. SONATRACH décide alors de restructurer la compagnie Tassili Airlines en un groupe aérien qui dispose de trois filiales :

- ❖ Nafta Tassili Air, qui s'occupe du transport des travailleurs du secteur à partir des gisements des hydrocarbures.
- ❖ Tassili Airlines, qui s'occupe du transport public domestique et international, de passagers et de marchandises,
- ❖ Tassili Travail Aérien (TTA), filiale de Tassili Airlines, qui s'occupe du travail aérien.



Figure 3.1 : Certificat d'opérateur d'IOSA (Operational Safety Audit) sous l'IATA

La Compagnies aériennes Tassili s'est inscrite comme un opérateur d'IOSA (Operational Safety Audit) sous l'IATA (International Air Transport Association).

Evénements clés de TAL :

- En octobre 2010 une convention est signée avec le ministère de la santé algérien pour la fournitures d'équipages et d'avions capables d'assurer des évacuations sanitaires depuis le grand sud algérien vers les hôpitaux du nord du pays, pour la prise en charge des maladies graves (cancer, blessures graves...).
- La compagnie Tassili Airlines a transporté 500 000 passagers en 2010 et a une prévision de 680 000 passagers pour 2011.
- Tassili a remporté l'APPROVAL CERTIFICATION par DACM le 18 mai 2011.



Figure 3.2 : APPROVAL CERTIFICATION par DACM

- A la fin de novembre 2011, la compagnie aérienne obtenu le label IOSA operator
- Tassili Airlines a étendu son réseau au service du grand public pour des vols charters internationaux et le transport régulier national et international.
- Le 28 septembre 2012, la compagnie a lancé son premier vol international Alger-Rome.
- Le 5 juillet 2013, l'ouverture de 2 vols internationaux à destination Saint-Etienne et Grenoble France.

Tassili Airlines possède aujourd'hui, en toute propriété, une flotte d'aéronefs de divers types qui lui permet de répondre, de façon adaptée, à la demande du marché aérien en Algérie. Elle est composée de :

- 4 Boeing 737-800 NG
- 4 Bombardier Q400
- 4 Bombardier Q200
- 3 Beechcraft 1900D
- 5 Pilatus PC-6
- 4 Cessna C208D
- 7 Bell Hélicoptère 206 Long Ranger

La réorganisation du groupe Sonatrach, ainsi que ses filiales aériennes, a fait que TASSILI AGRO AERIEN (TAA) Spa, toujours au stade de projet, est devenue TASSILI TRAVAIL AERIEN (TTA Spa), filiale à part entière de TAL, relevant du groupe Sonatrach, avec un champ d'actions élargi à tout le secteur du travail aérien.

Son permis d'exploitation lui a été délivré, par la DACM le 23 avril 2014 et renouvelé en 2015 avec une extension aux évacuations sanitaires.

3.1 Cadre statutaire de Tassili Travail Aérien Spa (TTA SPA) :

- Compagnie de travail aérien ;
- SPA au capital social de : 1.720 MDA ;
- Flotte : 14 aéronefs dont 07 hélicoptères ;

Type d'aéronef	Nbre
Beechcraft 1900D 03	03
Cessna 208G/C 04	04
Bell 206 LR	07

Tableau 3.1 : Répartition flotte TTA



Beechcraft 1900D
Capacité : 18 sièges



Cessna 208 G/C
Capacité : 09 sièges



Bell 206 LR
Capacité : 04 sièges

Figure 3.2 : Flottes de TTA avec leurs capacités

- Installations techniques : aéroports d'Alger et Hassi Messaoud ;
- Siège social : Dar El Beida- Krim Belkacem - Alger.

Effectif global :

187employés dont :

- 59 Pilotes répartis comme suit :
 - 06 CDB SUR BE1900D ;
 - 16 Pilotes sur C208B dont 02 TRI ;
 - 01 CDB SUR BELL206 ;
 - 20 Pilotes en qualification aux instruments (IR) ;
 - 12 Pilotes en cours de qualification sur le type C208B ;
 - 01 OPL en attente qualification sur le type BE1900D.

- 128 Personnel au sol dont :
 - 17 Ingénieurs en aéronautique dont 07 auditeurs, répartis comme suit :
 - 09 ingénieurs en maintenance (Propulsion, structure et Installation)
 - 08 ingénieurs en opérations aériennes ;
 - 04 agents ATE.

3.1.1. Activités :

Dans le tableau Ci-dessous nous présentons les différentes activités de la flotte TTA

Aéronefs	Activité
<p>Beechcraft 1900 D Total Flotte : 03 Avions</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Transport de la petite relève de <u>Sonatrach</u> et vol Taxi (Délégations et VIP); - Evacuations Sanitaires.
<p>Cessna 208 B Total Flotte : 04 Avions</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Transport de la petite relève de <u>Sonatrach</u>; - Vols Taxi.
<p>Bell 206 (7) Total Flotte : 07 Hélico</p> 	<p>L'inspection, visite et surveillance des installations industrielles, des pipe-lines, gazoducs et lignes électrique HT/THT;</p> <p>Le lavage des isolateurs des lignes électriques HT et THT (dans le cadre de l'affrètement);</p> <p>L'inspection thermographique des lignes électriques HT et THT, les prises de vues aériennes, films, documentaires publicité et les levés topographiques héliportés.</p>

Tableau 3.2 : Activité flotte TTA

3.1.2 Situation flotte

Ci-dessous la situation de la flotte TTA sur le territoire national

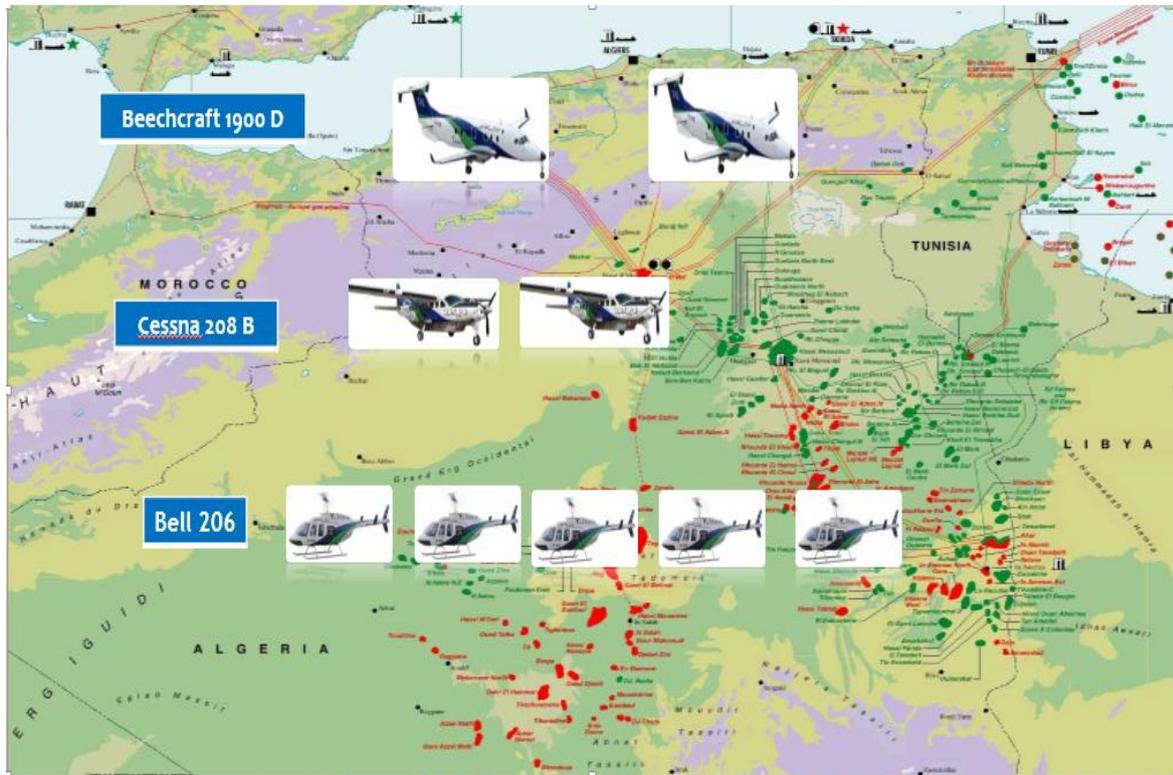


Figure 3.3 : situation flotte TTA

3.2. Prestations réalisées

Dans le cadre de la réalisation de son programme commercial, Tassili Travail Aérien exploite sa flotte dans différentes activités, entre autres :

3.2.1 Secteur avions

Le transport de la relève du personnel de la Sonatrach et associations, vols Taxi et évacuations sanitaires.

3.2.2 Secteur Hélicoptères

La réalisation de prises de vues aériennes, films et documentaires pour le compte de différents clients nationaux et internationaux entre autres : Algérie vue du ciel, Algérie pour Toujours, Texeira, Ennahar TV, ...etc. ;

Les levés topographiques héliportés (autoroute est-ouest, la ligne ferroviaire LGV, le transfert des eaux de Ain Salah à Tamanrasset...etc. ;

L'inspection, visites et surveillance des installations industrielles, du réseau pipe-lines et gazoducs ;

L'inspection visuelle et thermographique des lignes électrique HT et THT relevant du Groupe SONELGAZ ;

3.2.3 Clients en portefeuille

Dans la figure ci dessous les principaux clients de TTA



Figure 3.4 : Quelques clients de TTA

3.2.4 Perspectives de développement du secteur hélicoptères

Tassili Travail Aérien Spa, dans le cadre d'un partenariat, compte s'engager efficacement dans de nouveaux marchés par le lancement de nouvelles activités hélicoptées, entre autres :

- le Transport de marchandise par élingue ;
- les Evacuations Sanitaires hélicoptées ;
- l'Offshore ;
- le Transport de VIP ;

Ce qui lui permettra, à moyen terme, de renforcer son statut de leader du secteur des activités hélicoptées civile en Algérie.

Dans le même cadre, elle s'est fixé comme objectif la création d'un pôle de maintenance et de formation de pilotes et techniciens de maintenance sur hélicoptère.

3.2.5 Affrètement

Tassili Travail Aérien à la capacité d'affréter, sur demande de sa clientèle, des avions et hélicoptères, sur la base de son short liste de compagnies de Travail Aérien Internationales réparties par lot, comme suit :

lot 01 : Jet et/ou Avions à turbines de 06 à 18 sièges ;

lot 02 : Avions de type STOL biturbines de 15 à 18 sièges ;

lot 03 : Avions et/ou Hélicoptères Médicalisés (biturbines) ;

lot 04 : Hélicoptères mono et biturbines pour tout type de travaux hélicoptés ;

lot 05 : Hélicoptères agricoles et de lutte contre les feux de forêts (à turbines).

3.2.5 Politiques de la compagnie

- La politique de la compagnie est orientée Qualité, HSE, Sécurité des vols et Sûreté Aérienne. À ce titre, la maintenance de ses aéronefs est assurée par sa société mère Tassili Airlines qui dispose d'un centre de maintenance homologué répondant à toutes les normes internationales de sécurité et de prévention anti-incendie,

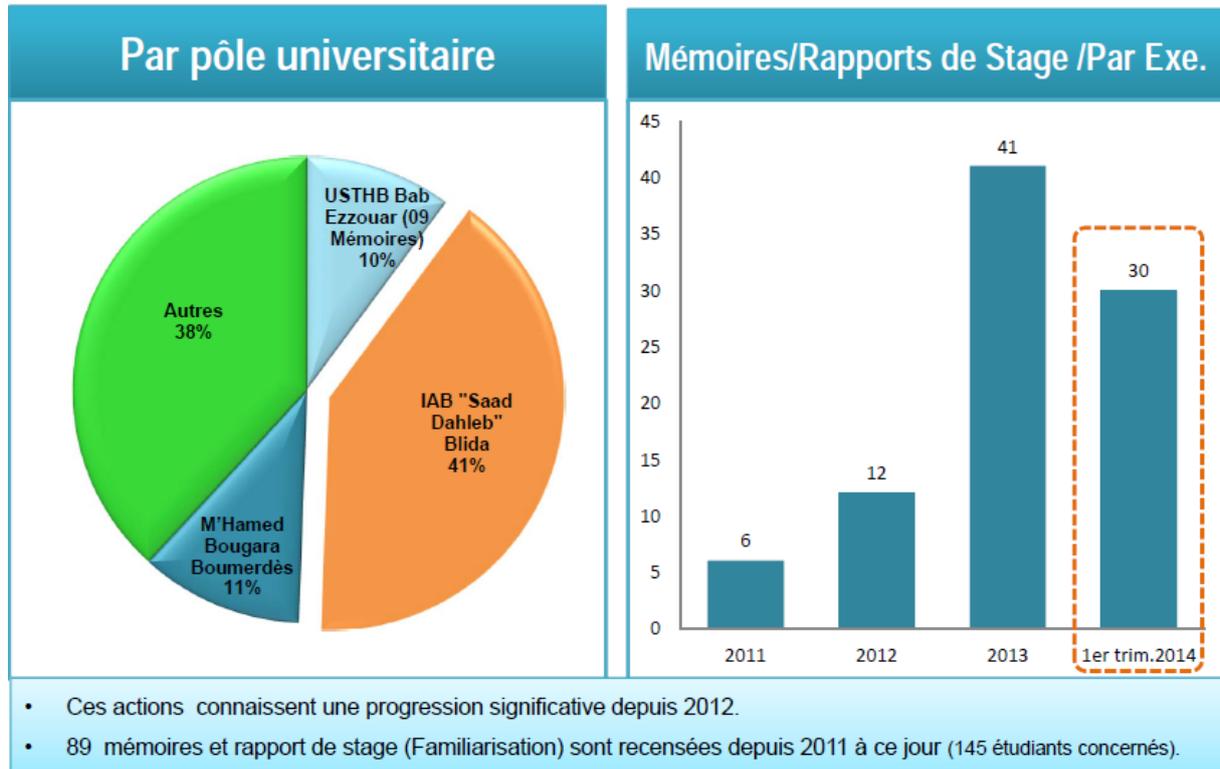


Figure 3.5 développement de l'encadrement chez TTA

Les actions d'encadrement viennent ponctuer un cycle universitaire (Mémoire fin d'études), elles permettent également d'accompagner la politique de recrutement de la compagnie, selon le plan arrêté, en ayant recours aux meilleurs profils et avec comme préoccupation majeure de prioriser le recrutement local.

Quelque sujets proposés et encadrés

- Electricité et avionique sur Bombardier (Q400 et Q200)
- Inspection NDT et réparation structurales sur aéronef type Bombardier Q400
- Maintenance et réparations des aéronefs type Bombardier Q400
- Optimisation du programme de vol de la compagnie Tassili Airlines
- Optimisation du transport PN à travers la programmation des PN par zone
- The Cessna C208 Caravan & the PT6-114A Engin

Notre sujet de mémoire est le premier travail à réaliser en collaboration avec l'université d'Aboubekr Belkaid

3.3 Organisation de l'entreprise :

La figure ci-dessous présente l'organisation de la direction général TTA et sa hiérarchie :

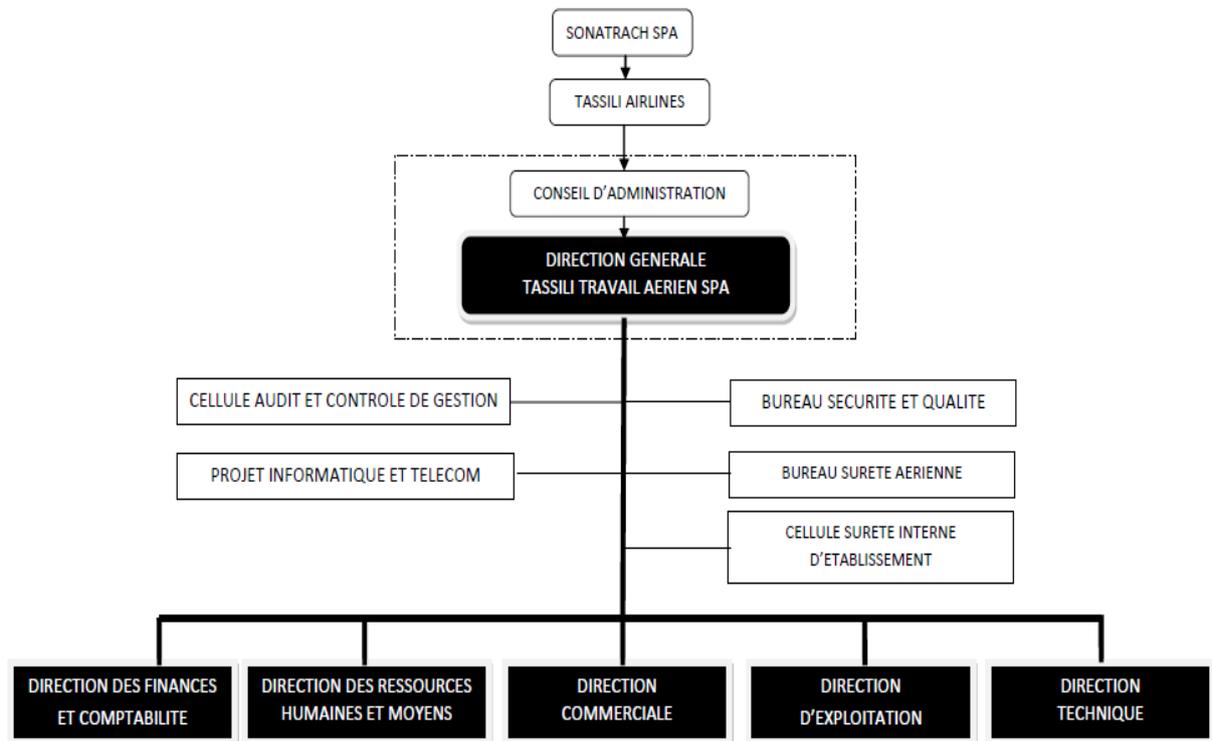


Figure 3.6 : Organigramme TTA

3.3.1 Conseil d'administration

A. Missions

A1. Pouvoirs du conseil d'administration (CA)

Le Conseil d'Administration détermine les orientations stratégiques de l'activité de la société et veille à leur mise en œuvre.

Sous réserve des pouvoirs expressément attribués aux assemblées des actionnaires et dans la limite de l'objet social, le conseil d'administration se saisit de toute question concernant la bonne marche de la société et délibère en la matière.

Il procède également aux contrôles et vérifications qu'il juge opportun dans le cadre de sa mission.

Le Conseil d'Administration dispose notamment des pouvoirs suivants :

- choisir le mode de direction de la société (PDG ou directeur général) ;
- convoquer les assemblées générales des actionnaires ;
- établir les documents sociaux de la société à savoir : l'inventaire, les comptes sociaux, le rapport de gestion, etc., à la clôture de chaque exercice social ;
- autoriser les conventions réglementées passées entre la société et l'un de ses dirigeants, administrateurs ou actionnaires ;

- Nommer et révoquer le Président du Conseil d'Administration mais aussi le directeur général ;
- Transférer le siège social de la société.

A.2 Pouvoirs du président du conseil d'administration

Le Président du Conseil d'Administration représente, organise et dirige les travaux de celui-ci dont il rend compte à l'assemblée générale des actionnaires. Il dispose, sauf clause contraire des statuts, d'une voix prépondérante en cas de partage des voix au sein du conseil. Il veille, en outre, au bon fonctionnement des organes de la société et s'assure, en particulier, que les administrateurs sont en mesure de remplir leur mission. Dans ce dernier cas, il est tenu de leur communiquer tous les documents et les informations pour l'accomplissement de leur mission.

Le Président du Conseil d'Administration doit garantir la régularité des convocations et la tenue des réunions aussi bien du Conseil d'Administration que de l'Assemblée des actionnaires.

Il doit procéder à la publicité des comptes sociaux ainsi qu'à celles liées à certaines modifications statutaires (Transfert du siège, extension de l'objet social, augmentation ou réduction du capital social, etc.)

A.3. Missions du Directeur Général

Le Directeur Général assume, sous sa responsabilité, la direction générale de la société. Il est investi des pouvoirs les plus étendus par le conseil d'administration pour agir en toute circonstance au nom de la société. Il exerce ses pouvoirs dans les seules limites de :

- l'objet social ;
- pouvoirs conférés par la loi aux assemblées des actionnaires,
- prérogatives du conseil d'administration
- statuts.

Le Directeur Général peut ainsi accomplir tout acte de gestion dans l'intérêt de la société.

Il représente également la société dans les rapports avec les tiers. Dès lors, la société est engagée même par les actes de son Directeur Général qui ne relèvent pas de l'objet social, à moins qu'elle ne prouve que le tiers ait connaissance que l'acte dépassait cet objet ou qu'il ne pouvait l'ignorer compte tenu des circonstances.

Enfin, à l'instar du Président du Conseil d'Administration, le Directeur Général est tenu d'une obligation d'information des administrateurs qui le contraint à leur communiquer tous renseignements imposés pour l'accomplissement de leur mission.

3.3.2 Organisation de la direction technique

La figure ci-dessous présente l'organisation de la direction technique et sa hiérarchie :

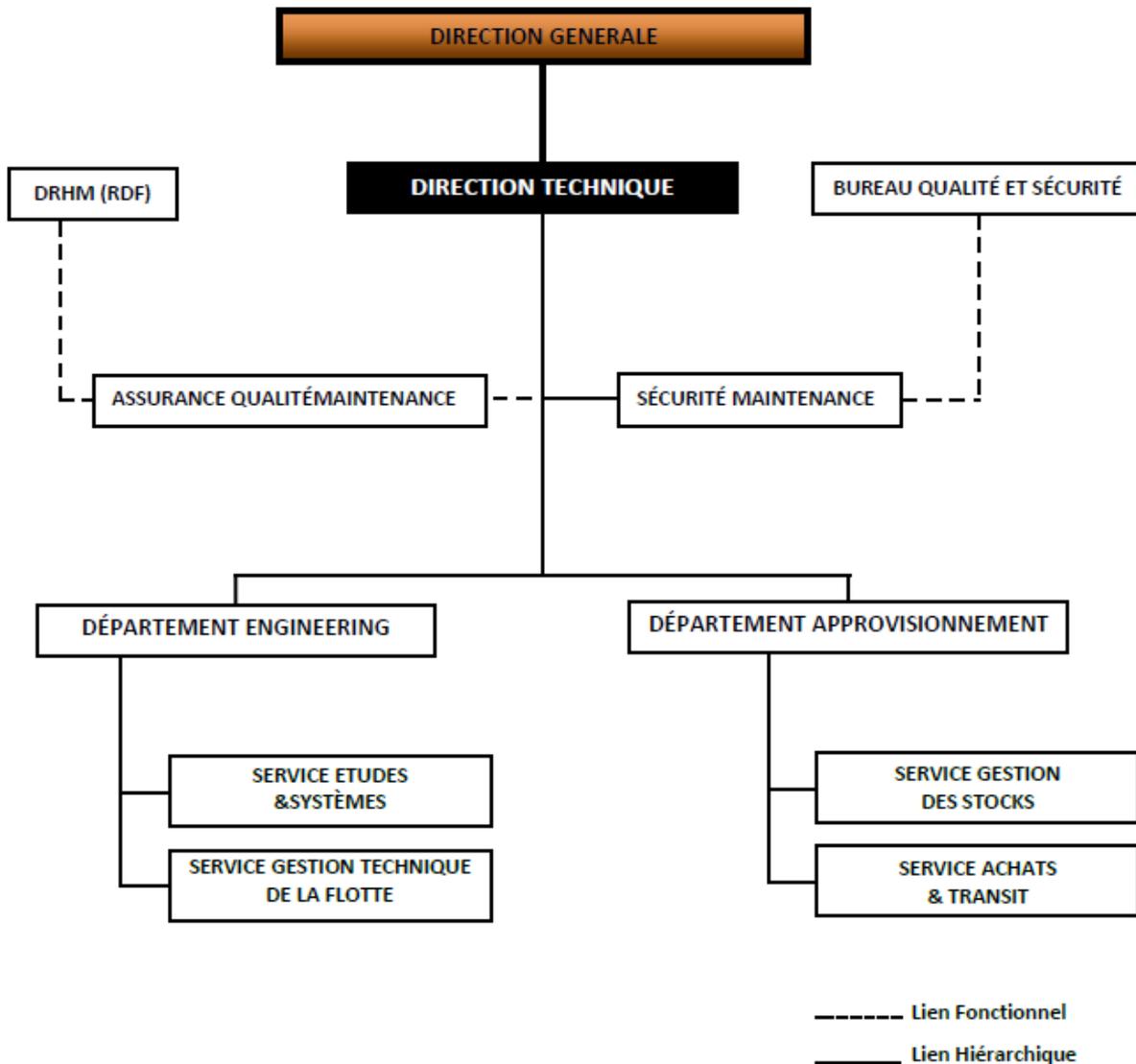


Figure 3.7 : Organigramme direction technique

A. Missions

Sous l'autorité du Directeur Général, le Directeur Technique est le responsable désigné de la maintenance.

La direction technique a pour missions de :

- maintenir en état de navigabilité tous les aéronefs de la compagnie ;
- s'assurer que les opérations d'entretien y compris la correction des défauts sont exécutées selon les données approuvées et suivant les procédures de la direction technique ;

- s'assurer que tous les travaux d'entretien sont correctement attestés et que les dossiers de ces derniers sont archivés dans un lieu sûr durant toute la période d'archivage ;
- développer, mettre en œuvre et contrôler les normes techniques de navigabilité des aéronefs et les composants de la flotte de l'entreprise ;
- assurer la coordination de l'ensemble des activités afférentes à la réception technique, la mise en service et la maintenance continue des aéronefs.
- mettre à disposition les compétences et ressources nécessaires pour le fonctionnement du SGS, en particulier pour la gestion des risques ;
- s'assurer que les personnels sous leur autorité ont suivi les formations adéquates ;
- remonter au responsable BQS toute information pertinente nécessaire à l'accomplissement de ses tâches ;
- mettre en œuvre les actions préventives et correctives relevant de son domaine.

B. Attributions

- transmettre aux constructeurs et aux autorités de régulation les informations relatives à toute anomalie mettant en cause la sécurité de l'aéronef et élément d'aéronef ;
- développer et mettre en œuvre un système comportant des indicateurs de performances et les actions correctives correspondantes en vue d'atteindre les objectifs fixés ;
- assurer les formations initiales et continues du personnel de la Direction Technique telles que prévues par les exigences réglementaires ;
- organiser et coordonner l'activité du hangar et des ateliers spécialisés, y compris la
- revue des délais de sous-traitance et d'approvisionnement des pièces détachées ;
- établir les études nécessaires à la modification des aéronefs et éléments d'aéronefs ;
- préparer et présenter au Directeur Général tous les plans et rapports afférents aux activités de la Direction Technique.

C. Structure

Pour assurer ces missions, la Direction Technique est composée des structures suivantes :

- secrétariat ;
- département Assurance Qualité Maintenance (Fonctionnellement) ;
- sécurité Maintenance ;
- département Engineering ;
- département Approvisionnement.

D. Fonction d'intérim

En l'absence du Directeur Technique, un intérimaire est nommé pour occuper le poste correspondant durant la période considérée. Le remplaçant doit posséder la qualification adéquate.

3.3.2.1 Secrétariat

A. Missions

Sous la responsabilité du Directeur Technique, la structure Secrétariat a pour missions de :

- assister le Directeur Technique dans l'exécution de ses tâches ;
- assurer le secrétariat de la Direction Technique.

B. Attributions

- Filtrer et répondre aux appels téléphoniques ;
- Assurer l'ouverture du courrier, son enregistrement et sa diffusion éventuelle ;
- Traiter les courriers et tous les documents ayant un caractère confidentiel ;
- Définir, mettre en place et contrôler les procédures d'émission de courrier :
 - o Qui signe ?,
 - o Comment repère-t-on les courriers émis et reçus ?,
 - o Système de référencement et responsabilité du suivi,
 - o Contrôle le nombre d'exemplaires et leur destination.
- Mettre en forme et saisir les courriers ;
- Assurer la tenue, le classement et l'archivage des dossiers et de la documentation administrative ;
- Accueillir les visiteurs du Directeur Technique ;
- Gérer les approvisionnements des fournitures et tous les éléments pour lesquels il a reçu la délégation ;

3.3.2.2 Sécurité et maintenance

A. Missions

La structure Sécurité Maintenance a pour missions de :

- participer à la conception du SGS de la Compagnie et conduire sa mise en œuvre et son maintien au niveau de la Direction Technique ;
- participer aux efforts de communication et de formation relatifs à la sécurité au niveau de la Direction Technique ;

- apporter conseils et recommandations au Directeur Technique et à l'ensemble des responsables des structures de la Direction Technique, à propos des questions relatives à la gestion de la sécurité ;
- animer et coordonner les activités de gestion des risques de sécurité et d'assurance la sécurité ;
- surveiller et mesurer la performance de la Direction Technique en matière de sécurité et coordonner les efforts visant à son amélioration continue.

B. Attributions

- Gérer le plan de mise en œuvre du SGS au niveau de la Direction Technique ;
- Administrer et coordonner la collecte et l'analyse systématique des données relatives à la sécurité, au niveau de la Direction Technique, par une combinaison de méthodes prédictives, proactives et réactives ;
- Conserver et tenir à jour la base de données des événements de sécurité liés aux activités de gestion de la navigabilité et de la maintenance ;
- Procéder à l'identification et l'évaluation des risques de sécurité liés aux activités de Gestion de la navigabilité et aux activités de maintenance ;
- Communiquer les préoccupations de sécurité, issues de l'identification et l'évaluation des risques, aux responsables des structures opérationnelles concernées ;
- Assister les structures opérationnelles de la Direction Technique dans la conception des mesures nécessaires à l'élimination ou l'atténuation des risques identifiés ;
- S'assurer, à travers le programme assurance de la sécurité, que des mesures de contrôle des risques de sécurité sont en place, qu'ils sont effectivement mis en pratique et qu'ils demeurent efficaces ;
- Surveiller la performance de sécurité des structures opérationnelles de la Direction technique ;
- Réaliser le programme d'audit sécurité, des inspections de sécurité et surveille les opérations normales ;
- Conduire, coordonner et rendre compte des investigations internes sur les incidents et les événements concernant la sécurité ;
- Documenter les dangers identifiés et les renseignements de sécurité issus de leur analyse et tenir à jour la bibliothèque de sécurité ;
- Communiquer les renseignements sur les dangers et diffuse les informations issus du

Processus d'évaluation et de maîtrise des risques de sécurité identifiés au niveau de la Direction Technique ;

- Superviser les activités des Officiers de Sécurité qui lui sont attachés, les orienter et leur fournir l'appui et l'assistance nécessaire ;
- Elaborer et planifier le budget de la structure sécurité ;
- Conduire des études de sécurité liées aux activités de gestion de la navigabilité et de la maintenance.

Le département Sécurité Maintenance est sous l'autorité hiérarchique du Directeur Technique tout en étant en relation fonctionnelle avec le Bureau Qualité et Sécurité.

C. Collectif de la structure

Pour assurer sa mission, le Département Sécurité maintenance dispose des officiers de sécurité.

D. Fonction d'intérim

En l'absence du Responsable Sécurité Maintenance, un intérimaire est nommé pour occuper le poste correspondant durant la période considérée. Le remplaçant doit posséder la qualification adéquate.

3.3.2.3 Département engineering

A. Missions

Sous l'autorité du Directeur Technique, Le département Engineering a pour missions de :

- assurer le suivi et la gestion de navigabilité des aéronefs exploités par la compagnie ;
- s'assurer que les travaux d'entretien sont planifiés, lancés et suivis conformément aux programmes d'entretien et à la réglementation en vigueur et selon les procédures établies ;
- mettre en œuvre des actions correctives résultant des audits effectués par l'Assurance qualité ;
- planifier les immobilisations aéronefs conformément aux programmes d'entretien et en coordination avec les Directions Commerciale et Exploitation de la Compagnie ;
- assurer la disponibilité et la diffusion de la documentation nécessaire à l'entretien des aéronefs et éléments d'aéronefs pour toutes les structures de la Direction Technique ;
- assurer la disponibilité des moyens informatiques en terme de logiciels, nécessaires à l'activité d'engineering ;
- proposer et participer à l'élaboration du programme de formation annuel relatif au personnel de la structure ;

- mettre à disposition les compétences et ressources nécessaires pour le fonctionnement du SGS, en particulier pour la gestion des risques ;
- s'assurer que les personnels sous leur autorité ont suivi les formations adéquates ;
- remonter au responsable BQS toute information pertinente nécessaire à l'accomplissement de ses tâches ;
- Mettre en œuvre les actions préventives et correctives relevant de son domaine.

B. Attributions

- Elaborer et mettre à jour les programmes et manuels d'entretien de la flotte exploitée par la compagnie et veiller à son approbation ;
- Etablir et suivre les dossiers de modifications et de réparation ;
- Assurer le suivi technique des appareils sous contrat ou en délégation du propriétaire ou de l'exploitant ;
- Assurer les relations avec les constructeurs ;
- Veiller au respect des équivalences entre références réelles et celles transmises par le magasin ;
- Elaborer, suivre et mettre à jour les fiches techniques internes ;
- Assurer le maintien de la navigabilité et veiller à l'atteinte des objectifs de fiabilité des systèmes et équipements d'aéronef et éléments d'aéronefs ;
- Coordonne l'instruction des problèmes techniques, particulièrement ceux posés par la production ;
- Réaliser des études de performance économique de la maintenance et proposer des solutions pour optimiser les coûts en respectant le budget et les délais de maintenance ;
- Elaborer et mettre en œuvre de tous les plans d'action garantissant la navigabilité des aéronefs de la compagnie ;
- Participer au pilotage des opérations de maintenance sous-traitées à l'extérieur.

C. Structure

Pour assurer sa mission, le Département Engineering est composée des services suivants :

- Service Gestion Technique de la Flotte ;
- Service Etudes & Systèmes.

D. Fonction d'intérim

En l'absence du chef de département engineering, un intérimaire est nommé pour occuper

le poste correspondant durant la période considérée. Le remplaçant doit posséder la qualification adéquate.

3.3.2.4 Service gestion technique de la flotte (SGTF)

A. Missions

Le service SGTF a pour missions de :

- élaborer et mettre à jour les programmes d'entretien de l'ensemble de la flotte ;
- minimiser les coûts de maintenance en optimisant les programmes d'entretien, l'organisation du service et des moyens mis en œuvre.

B. Attributions

- Elaborer, mettre à jour et amender les manuels d'entretien en fonction du programme constructeur, des rapports de fiabilités et de la réglementation en vigueur ;
- Elaborer les cartes de travail (protocoles) destinées à l'exécution des tâches d'entretien ;
- Elaborer les dossiers de travaux planifiés et non planifiés, du suivi et de l'archivage des travaux réalisés ;
- S'assurer que les documents aéronefs sont correctement renseignés ;
- Définir conjointement avec les approvisionnements les besoins en pièces de rechange, ingrédients et autres matières nécessaires à l'entretien ;
- Définir conjointement avec la production les besoins en équipements de servitude au sol, outillage spécifique et instruments nécessaires à la réalisation des travaux de maintenance ;
- Assurer le suivi des aéronefs et éléments d'aéronef ;
- Proposer les modifications de méthodes d'entretien afin d'améliorer la productivité et la qualité et minimiser les temps d'immobilisation des aéronefs ;
- Elaborer les rapports de fiabilité ;
- Mettre à disposition les compétences et ressources nécessaires pour le fonctionnement du SGS, en particulier pour la gestion des risques ;
- S'assurer que les personnels sous leur autorité ont suivi les formations adéquates ;
- Remonter au responsable BQS toute information pertinente nécessaire à l'accomplissement de ses tâches ;
- Mettre en œuvre les actions préventives et correctives relevant de son domaine.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'entreprise Tassili Travail Aérien et ses diverses activités, et ses différentes prestations avec ses principaux clients, sa politique et aussi son organisation structurelle.

Chapitre 4 : Diagnostic d'un turbopropulseur PT6A

Introduction

Dans ce chapitre nous allons étudier le turbopropulseur PT6A installé sur un Beechcraft 1900d, ses principaux organes structuraux, ses sous-systèmes, puis on va présenter les différentes méthodes et moyens de maintenance, nous finissons par l'élaboration des arbres de défaillances du système de démarrage et la contribution d'un outil d'aide au diagnostic des problèmes liés au démarrage.

Terminologie

a-Inspection (de routine)

Consiste en un examen global visuel, ou en un essai de fonctionnement. Elle permet de s'assurer de l'état d'un sous-ensemble d'aéronef, autant qu'un désassemblage n'est pas nécessaire.

b-Inspection détaillée

Consiste en un examen complet d'un sous-ensemble d'aéronef, avec les désassemblages nécessaires, de façon à détecter les défauts et prévoir celles qui auraient des conséquences catastrophiques.

Les inspections de routine sont celles pratiquées à l'occasion des visites de 50h, 100h et annuelle. Les inspections détaillées sont mises en oeuvre lors des grandes visites d'entretien de 1000h et 5 ans.

c-Examen visuel

C'est une des composantes de l'inspection de routine définie ci-dessus. L'action a pour but de s'assurer avec attention du bon état d'un organe, visuellement, "in situ".

Exemple : Recherche de corrosion.

d-Examen détaillé

C'est une des composantes de l'inspection détaillée telle que définie ci-dessus. Il consiste en un examen approfondi d'un organe, soit visuellement, après démontage, soit encore en s'aidant d'une loupe ou en utilisant d'autres moyens d'investigation (ressuage - magnétoscopie - courants de Foucault - ...).

e-Vérification

C'est une des composantes aussi bien de l'inspection de routine que de l'inspection détaillée.

C'est une opération par laquelle on s'assure d'une conformité, ou d'un état, d'après mesure ou à l'aide d'un instrument de contrôle.

Exemple : Vérification de la tension des câbles de commandes de vol.

f- Essai et test

C'est aussi une des composantes de l'inspection de routine et de l'inspection détaillée suivant

le cas. L'opération a pour but de s'assurer du bon fonctionnement d'un organe ou équipement avec, éventuellement, une vérification des performances avec ou sans instruments de contrôle.

Exemple : Essai au banc de l'altimètre

g-Vol de contrôle

Les vols de contrôle sont effectués conformément aux exigences de l'annexe 4 de l'Arrêté du 24 juillet 1991 relatif aux conditions générales des aéronefs civils en aviation générale.

Utiliser la dernière édition du programme d'essai en vol DynAéro et la procédure de visite de contrôle avant le premier vol

h-Dépose/pose

Une dépose/pose implique le désassemblage d'un sous-ensemble de l'aéronef pour inspection détaillée, puis, son remontage sur l'aéronef.

Exemple : Dépose/pose de la lame du train

4.1. Turbopropulseur PT6A

Le turbopropulseur PT6A, un incontournable dont le rendement, la fiabilité et la valeur sont sans égaux dans la catégorie des 500 à 2 000 ch sur l'arbre, est idéal pour une vaste gamme d'applications. Que ce soit pour le transport commercial des voyageurs ou l'aviation d'affaires, pour le largage de cargaison dans les ténèbres de l'Antarctique à des froids pouvant atteindre 75 degrés sous zéro ou pour soutenir les efforts environnementaux des programmes de reforestation.



Figure 4.1 : Avion Beechcraft 1900d muni d'un turbopropulseur PT6A

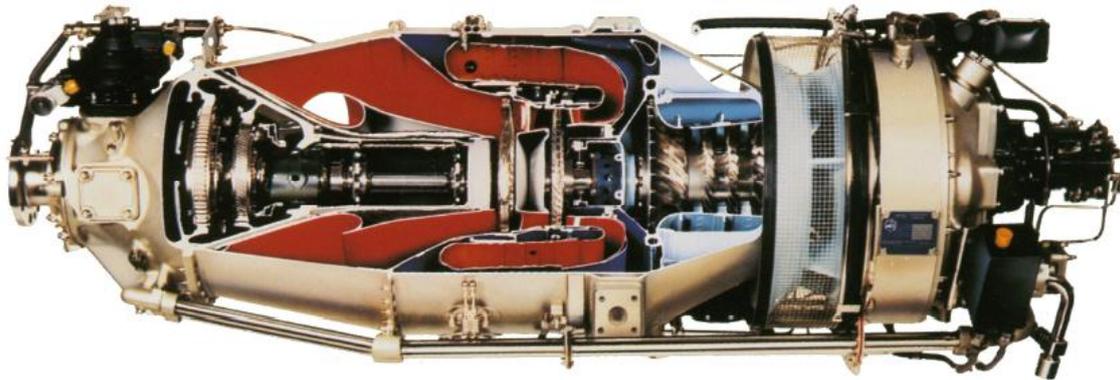


Figure 4.2 : Turbopropulseur PT6A



Figure 4.3 : Le turbopropulseur PT6A dans le hangar maintenance TAL

a-Fonctionnalités

La configuration novatrice du PT6A est un facteur clé de son succès ; en effet, son admission de flux inversé placée à l'arrière et sa section turbine dirigée vers l'avant accélèrent les tâches de maintenance en permettant la remise à neuf des parties chaudes sans dépose, et ce, dans la plupart des avions. Le PT6A est un moteur à deux arbres doté d'un compresseur multiétage entraîné par une turbine avec compresseur mono étage et un arbre indépendant qui relie la turbine motrice à l'hélice par l'intermédiaire d'un réducteur concentrique épicyclique.

La famille de moteurs PT6A regroupe trois séries de modèles aux degrés de puissance divers appelés respectivement les « petits », « moyens » et « gros » PT6A. On accroît les niveaux de

puissance en augmentant le débit d'air dans le compresseur et le nombre d'étages de la turbine motrice. La plupart des modèles récents sont équipés des technologies de pointe sur le plan des matériaux, du refroidissement de la turbine et de la conception aérodynamique.

Compresseurs axial multiétage et centrifuge monoétage

Flux inversé, admission radiale avec grillage de protection contre les dommages causés par des corps étrangers

Les gros modèles de PT6A à puissance élevée intègrent trois étages de compresseur axiaux et un étage centrifuge

Les petits et moyens modèles de PT6A intègrent un compresseur axial quadriétage et un compresseur centrifuge monoétage

b-Chambre de combustion à flux inversé

Faibles émissions, grande stabilité, démarrage facile, durabilité

c-Turbine avec compresseur monoétage

Aubes fixes refroidies dans certains modèles permettant d'améliorer la durabilité

d-Turbine motrice libre indépendante avec aubes renforcées

Les modèles de PT6A gros et intermédiaires intègrent une turbine de travail axiale biétage

Les petits modèles de PT6A intègrent une turbine de travail axiale monoétage

Sortie dirigée vers l'avant pour permettre une remise à neuf rapide de la partie chaude

e-Réducteur épicyclique

Permet une installation compacte

Vitesse de sortie optimisée pour une puissance maximale et un bas niveau de bruit

Vitesse de sortie de 1 700 à 2 200 tours/min

f-Système électronique de régulation numérique sur de nombreux modèles de PT6A

D'autres modèles intègrent divers modules de commande et des fonctions prioritaires pour rehausser la facilité d'exploitation et la sécurité du vol

	Catégorie de puissance thermo* (puissance équivalente sur l'arbre)	Catégorie de puissance mécanique* (puissance sur l'arbre)	Vitesse de l'hélice (max, tr/min)	Hauteur** (pouces)	Largeur** (pouces)	Longueur** (pouces)
PT6A 'petits' (A-11 à A-140)	600 à 1075	500 à 900	1 900 à 2 200	21 à 25	21,5	61,5 à 64
PT6A 'moyens' (A-41 à A-62)	1 000 à 1 400	850 à 1 050	1 700 à 2 000	22	19,5	66 à 72
PT6A 'gros' (A-64 à A-68)	1 400 à 1 900	700 à 1 700	1 700 à 2 000	22	19,5	69 à 75.5

Tableau 4.1 : Caractéristiques techniques des différents PT6A [9]

* Les puissances sont des valeurs approximatives au décollage. Disponibles au niveau de la mer, pour une journée standard, dans des conditions statiques, moteur non installé. Exclut la poussée des gaz d'échappement.

** Les dimensions sont des valeurs approximatives.

*** Inclut la contribution équivalente estimée de la poussée des gaz d'échappement.

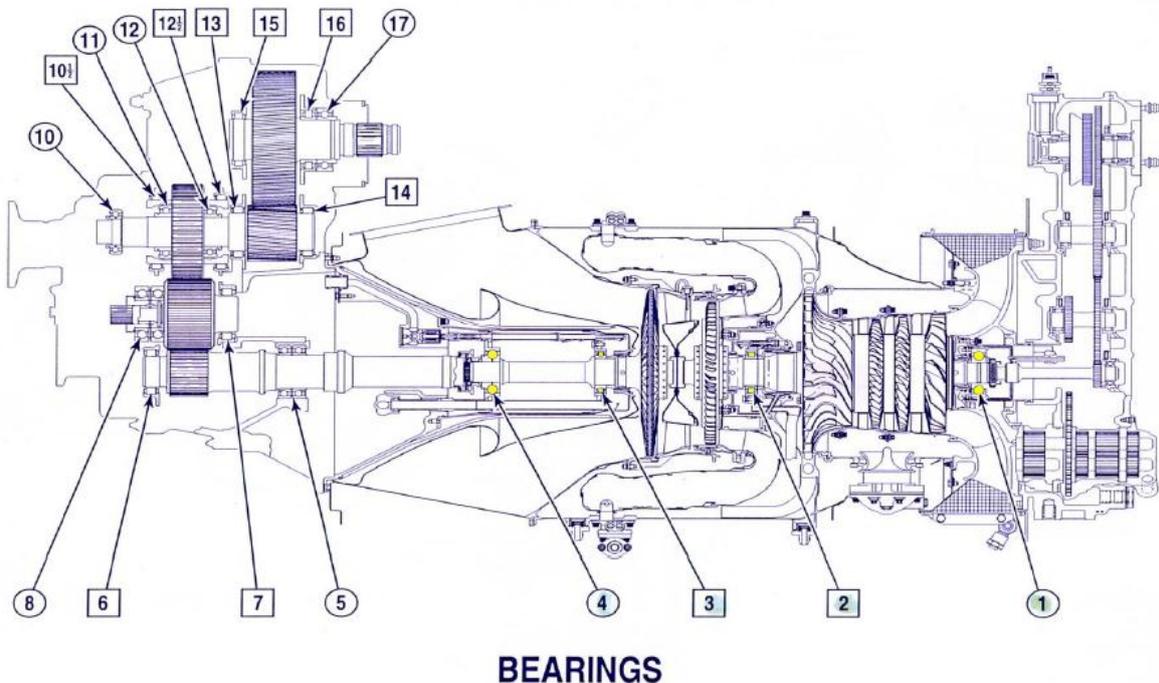


Figure 4.4 roulement PT6A [9]

4.2. Principaux organes structuraux

4.2.1-Ensemble « entrée d'air »

L'entrée d'air est décalée vers le bas en forme d'écope. Le souffle de l'hélice favorise alors l'alimentation en air du groupe compresseur

Ci-dessous le turbopropulseur Pratt & Whitney PT6A équipant de nombreux avions, sur ce type de turbine écope et tuyère se trouvent à l'avant

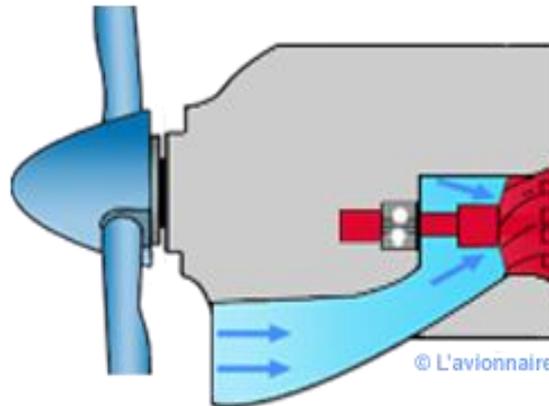


Figure 4.5 entrée d'air PT6A [9]



Figure 4.6 : Entrée d'air PT6A

Sur la photo du PT6A ci-dessous on remarque la protection de l'entrée d'air. Cette protection est généralement une grille contre les corps étrangers pouvant résister à l'impact d'un oiseau. Des filtres de protection contre le sable peuvent aussi être installés.



Figure 4.7 : Protection de l'entrée d'air

Comme pour les turboréacteurs au sol lors des escales assez longues les entrées d'air sont toujours obturées par un cache pour éviter que des objets ne pénètrent à l'intérieur, mais aussi pour éviter que la turbine tourne sous l'effet du vent sans que les paliers soient huilés.

a-Entrée d'air moteur

L'entrée d'air moteur est généralement constituée par un carter en alliage léger, qui a souvent la fonction annexe de supporter des accessoires

b-Manche d'entrée d'air

Elle doit permettre d'obtenir une pression totale aussi élevée que possible à l'entrée du compresseur

4.2.2. Les compresseurs

Rôle

Le rôle du compresseur est d'aspirer et de comprimer l'air pour l'amener à des vitesses, pression et température optimales à l'entrée de la chambre de combustion.

Il existe deux sortes principales de compresseurs :

- les compresseurs axiaux
- les compresseurs centrifuges

Afin d'éviter les confusions ou malentendus on désigne dans le "jargon" motoriste par :

- rotor : l'organe mobile du compresseur axial
- redresseur : l'organe fixe du compresseur axial
- rouet : l'organe mobile du compresseur centrifuge

- diffuseur : l'organe fixe du compresseur centrifuge

Il y a également une solution mixte : le compresseur « axialo-centrifuge ».

4.2.2.1 Compresseurs axiaux

Un turbopropulseur est généralement composé :

- d'un compresseur basse pression
- d'un compresseur haute pression

Le taux de compression des compresseurs est lié à sa vitesse de rotation et au nombre d'étages qu'il comporte.

Conçus de la même manière, les compresseurs basse et haute pression se différencient par la taille de leurs aubes et par leur vitesse de rotation.

Un compresseur axial se compose d'une suite d'étages axiaux disposés en série chacun comprenant une roue à aubes mobile rotor et d'un stator à aubes redresseur, tous ces étages sont calculés pour adapter parfaitement leurs conditions de fonctionnement à celles des étages en amont et en aval.

L'aubage mobile rotor est constitué d'un disque circulaire sur lequel sont fixées des aubes (ailettes) et tourne devant l'aubage fixe redresseur.

L'envergure des ailettes varie le long de l'écoulement pour compenser les variations de la masse volumique du fluide et pour conserver à la vitesse débitante axiale une valeur constante (voir dessin ci-dessous).

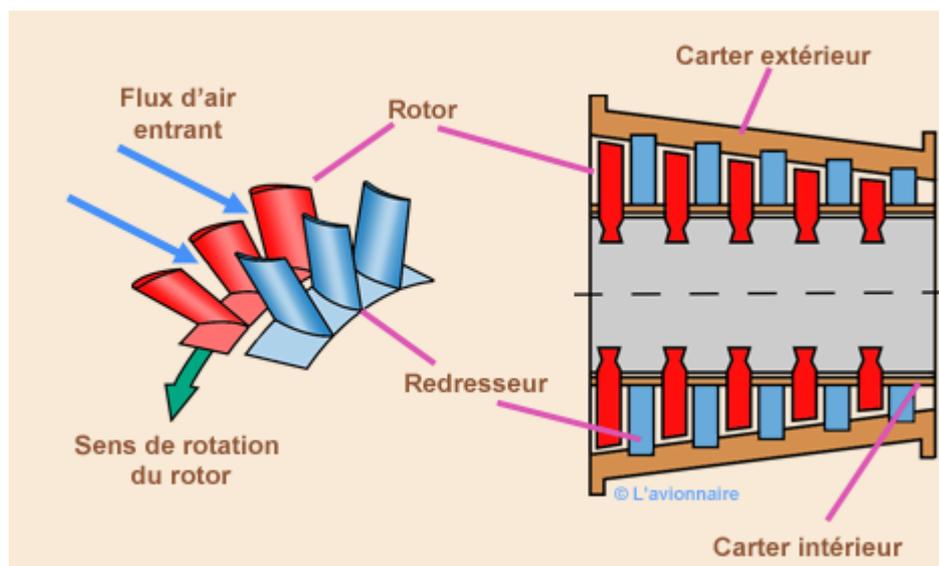


Figure 4.8 : Redresseur [9]

4.2.2.2 Compresseurs centrifuges

Un compresseur centrifuge est composé d'un rouet à palettes radiales qui aspire l'air axialement. Les palettes étant divergentes, l'air sous l'effet de la force centrifuge va être accéléré, comprimé et refoulé radialement. Cet air est ensuite redressé dans un diffuseur (aubage fixe) qui transforme une partie de sa vitesse en pression. Un collecteur récupère finalement cet air comprimé pour l'amener dans l'axe de la chambre de combustion

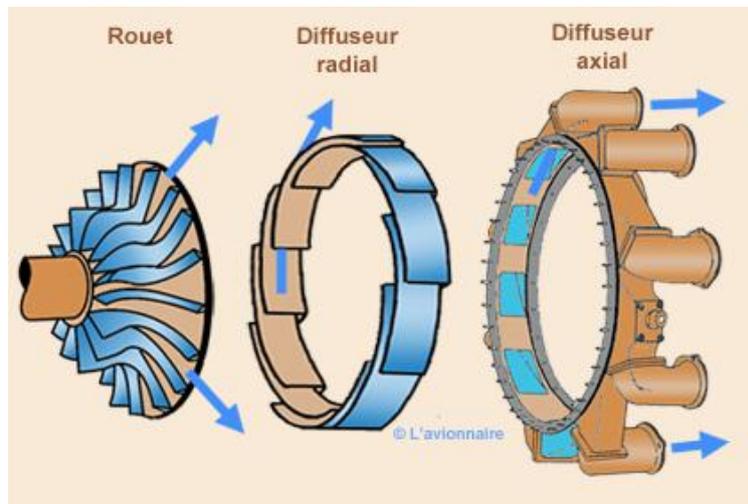


Figure 4.9 : Rouet, diffuseur radial et axial [9]

4.2.3. Chambre de combustion

La chambre de combustion est destinée à chauffer l'air qui sort du dernier étage du compresseur HP afin de lui apporter l'énergie nécessaire à faire mouvoir la ou les turbines et à donner suffisamment de poussée à la tuyère. Cet apport de chaleur se fait par la combustion de l'oxygène de l'air avec un carburant, du kérosène (hydrocarbure) en l'occurrence. Elle doit être la plus complète possible et la répartition des températures dans les gaz la plus homogène possible.

Principe de fonctionnement

L'air qui pénètre dans la chambre de combustion se répartit en plusieurs circuits. Une partie rentre directement dans le tube à flammes et dans l'injecteur pour contribuer à la combustion. Une autre partie contourne le tube à flammes et sert à la fois pour refroidir les parois et pour diluer et mélanger l'écoulement de l'air dans le foyer.

A la mise en rotation du propulseur, le mélange de l'air provenant du compresseur et du carburant injecté par la pompe est enflammé par une bougie (allumeur). Après avoir atteint son régime d'autonomie l'allumage de la bougie est coupé et la flamme s'auto-entretient.

4.2.4. Turbine

Principe de fonctionnement

Dans ce type de turbopropulseur l'axe de sortie se trouve à l'avant ce qui permet de réduire la longueur de l'arbre de l'hélice. La chambre de combustion à flux inversé, entraîne la diminution de l'encombrement du moteur.

Ci-dessous schéma du Pratt & Whitney PT6A avec son réducteur concentrique épicyclique.

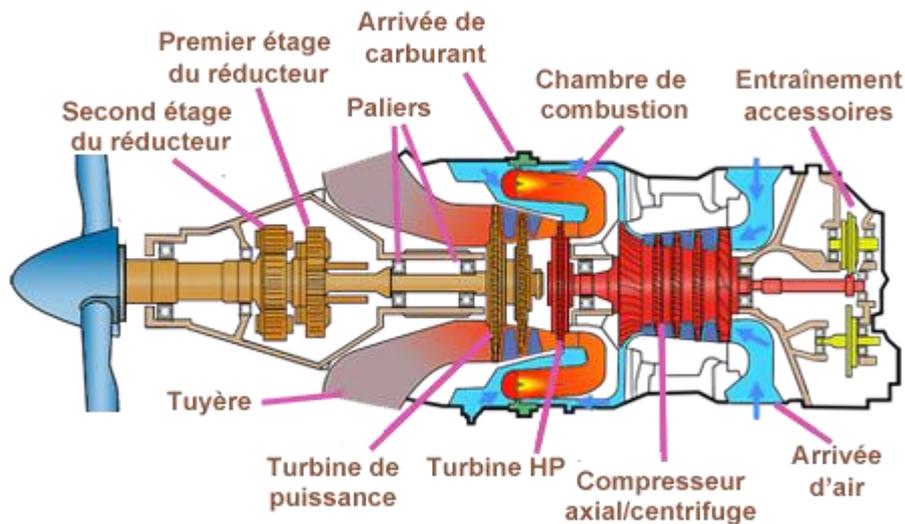


Schéma réalisé d'après un dessin de Pratt & Whitney Canada

Figure 4.10 : Mode de fonctionnement [9]

4.2.5. Canal d'éjection

4.2.5.1. Carter d'échappement

Le carter d'échappement situé derrière la turbine assure la continuité intérieure et extérieure de la veine permettant de séparer, sur les moteurs à double-flux, le flux chaud du flux froid.

4.2.5.2. Tuyères

Le rôle de la tuyère est d'évacuer les gaz chauds sous pression sortant des turbines en leur communiquant le maximum de vitesse et obtenir le maximum de poussée. Elle est en général de section convergente puis divergente ou simplement convergente

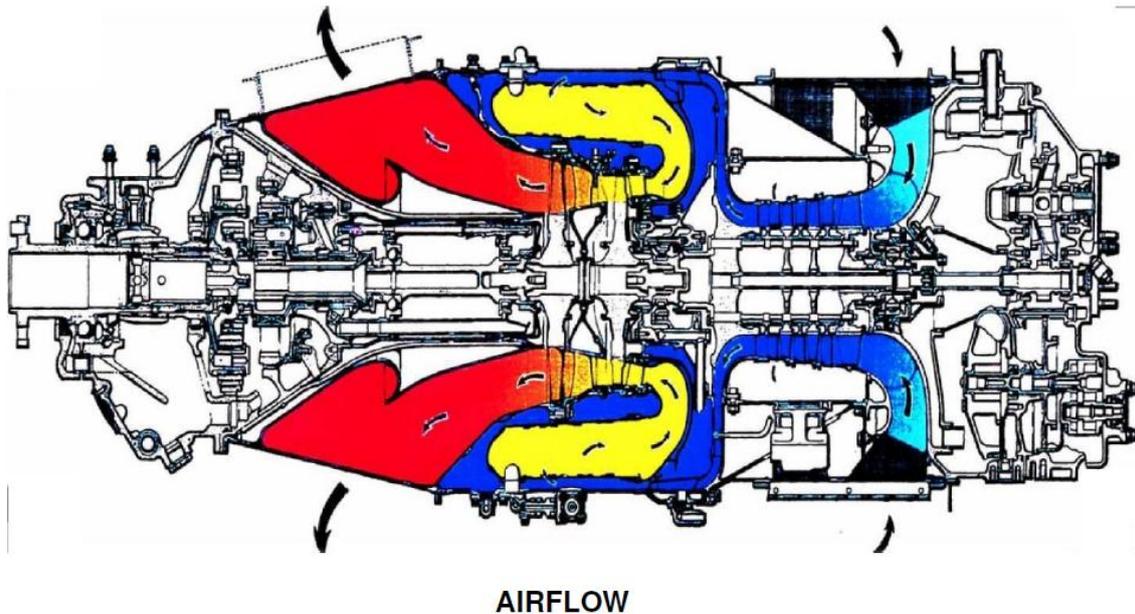


Figure 4.11 Flux d'air PT6A [9]

4.2.5.6. Réducteurs

Placé entre la turbine et l'axe de l'hélice le rôle du réducteur est de réduire la vitesse de rotation de l'hélice. En effet la formation des ondes de choc sur l'hélice est fonction de la vitesse de rotation de l'hélice et de la vitesse de l'avion. A partir d'une certaine vitesse les extrémités des pales vont subir des ondes de choc transsoniques et leur efficacité diminuera fortement. C'est pour cette raison que la majorité des avions à turbopropulseurs ont une vitesse de croisière comprise entre 400Km/h et 700Km/h.

Les hélices entraînées par les réducteurs sont toutes dotées d'un mécanisme pour ajuster l'angle de calage des pales en fonction du vol (montée, croisière, descente, mise en drapeau ou reverse). Ce mécanisme peut être automatique ou manuel.

Sur notre PT6A :

- la turbine à gaz (compresseur/turbine HP) tourne à environ 45 000 tr/min.
- la turbine indépendante de puissance reliée à l'entrée du réducteur tourne à environ 30 000 tr/min.
- l'arbre de l'hélice à la sortie du réducteur tourne entre 1 700 et 2 200 tr/min.

Schéma d'un réducteur planétaire ou épicycloïdal. Le porte satellite qui est fixe par rapport au bâti, n'est pas représenté sur le dessin ci-dessous [9].

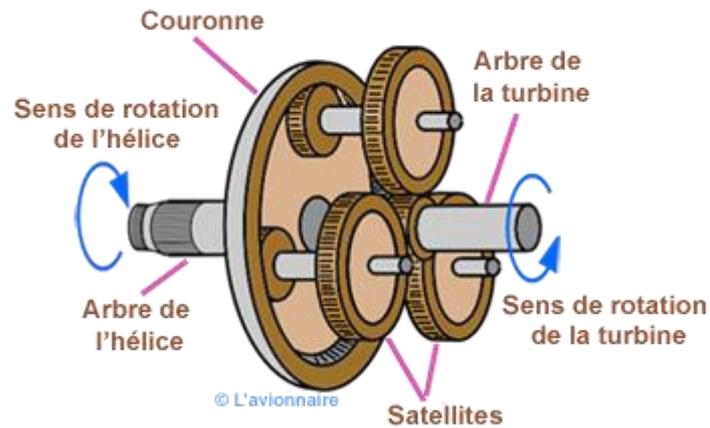


Figure 4.12 : Réducteur PT6A [9]

Coupe d'un réducteur épicycloïdal à deux étages avec denture des engrenages hélicoïdale.

Avantages d'une telle denture :

- usure et niveau sonore réduit
- régularité de la transmission à haute vitesse (nombre de dents en prise plus élevé)
- couple transmis peut être plus élevé (nombre de dents en prise plus élevé)

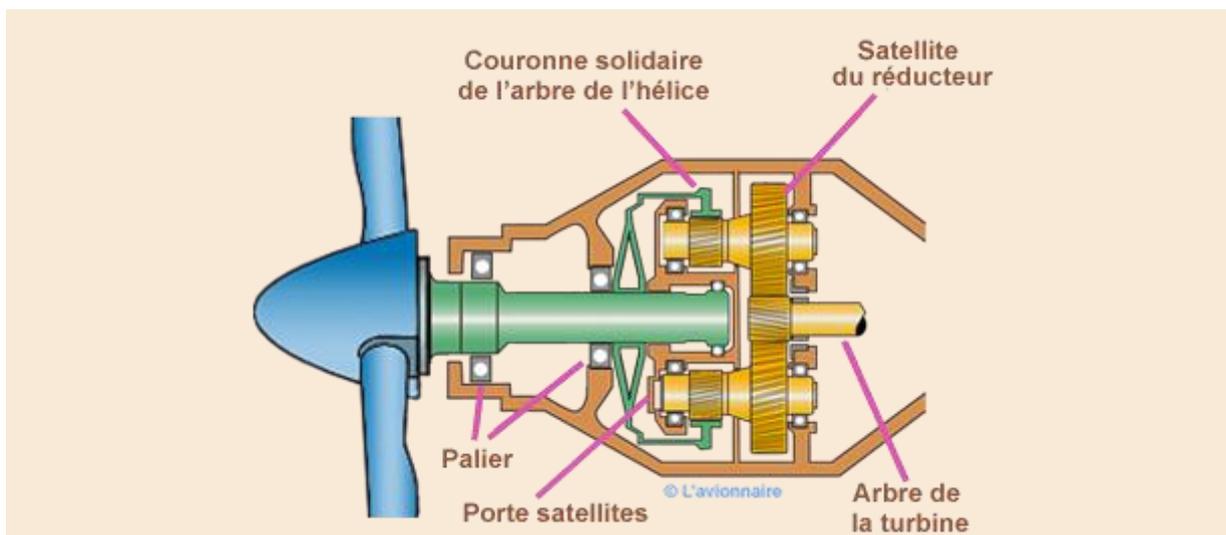


Figure 4.13 Réducteur PT6A [9]

Ci-dessous coupe d'un réducteur décalé. Les moteurs de la famille PW 100 à 150 de Pratt & Whitney utilisent un réducteur basé sur ce principe.

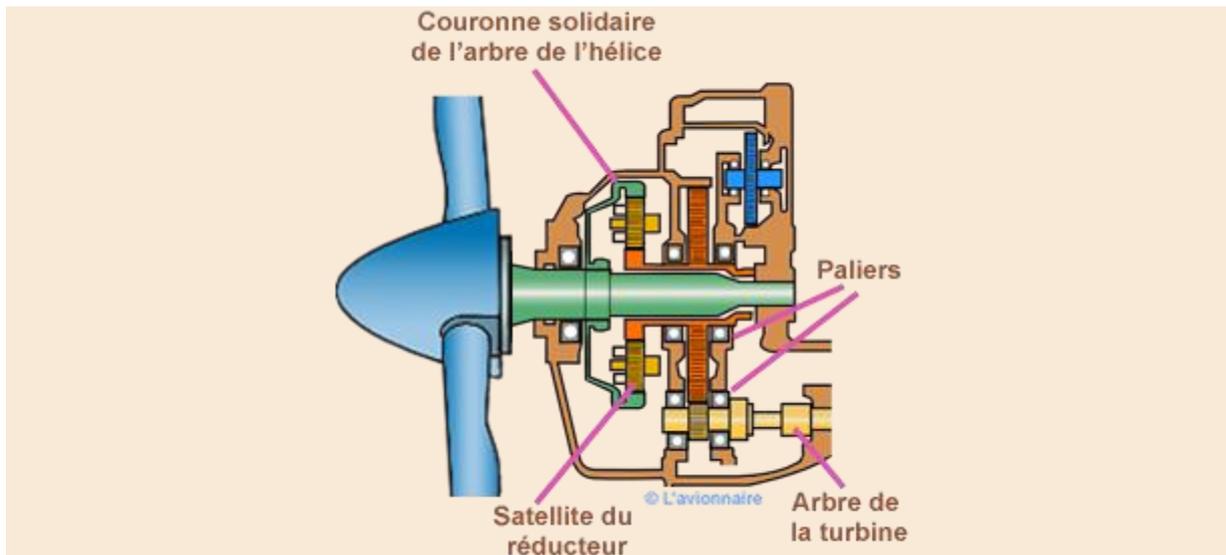


Figure 4.14 : Coupe d'un réducteur décalé [9]

4.3. Sous-systèmes du turbopropulseur

4.3.1. Circuit d'air Interne

L'air de refroidissement des parties chaudes comme les distributeurs et les aubes de turbine HP est prélevé en sortie du compresseur HP. Le circuit d'air interne permet d'exercer des contre-pressions sur les disques de compresseur et de turbine afin de diminuer les forces axiales sur les paliers. Un contrôle actif des jeux entre les rotors et les carters des compresseurs et turbines est assuré par l'envoi d'air prélevé et contrôlé par une vanne elle-même commandée par la régulation du moteur.

4.3.2. Circuit d'air externe

Dans un turbopropulseur le circuit d'air externe assure des fonctions diverses sur le moteur lui-même et sur l'avion. L'air est généralement prélevé sur le compresseur HP et peut être utilisé :

- sur le moteur :
 - pour le dégivrage de l'entrée d'air,
 - pour éviter le pompage compresseur grâce à une vanne de décharge,
 - pour servir comme informations de pression et de température pour la régulation du moteur ;
- sur l'avion :
 - pour la pressurisation et la climatisation de la cabine,
 - pour le dégivrage de la voilure,
 - pour la pressurisation de certains réservoirs (hydraulique, eau, carburant),
 - pour le démarrage des autres moteurs.

Certains accessoires, qui subissent un échauffement important, sont refroidis par circulation d'air et la ventilation de la nacelle moteur est réalisée à partir du flux secondaire ou de l'air extérieur.

4.3.3. Circuit d'huile

La lubrification consiste à assurer l'établissement et le renouvellement du film d'huile sur les pièces nécessitant un graissage, telles que les paliers, ainsi que l'évacuation des calories. Les huiles utilisées dépendent des conditions de charges et de températures et sont actuellement majoritairement d'origine synthétique à cause de leur plus grande plage de température et de leur plus grande durée de vie que les huiles d'origine minérale.

Le circuit d'huile assure les fonctions de :

- stockage ;
- alimentation sous pression ;
- filtrage ;
- récupération ;
- refroidissement ;
- dégazage ;
- contrôle de fonctionnement par mesure de pression et de température ;
- contrôle d'usure par bouchon magnétique ;
- contrôle de colmatage des filtres.

4.3.4. Fonction de démarrage

La fonction de démarrage doit assurer :

- le lancement de l'attelage compresseur-turbine ;
- l'alimentation en carburant durant la phase de démarrage ;
- la commande des bougies d'allumage de la chambre de combustion.

4.3.4.1 Lancement

Cette fonction consiste à entrainer en rotation l'ensemble tournant du générateur de gaz afin que le compresseur puisse alimenter en air la chambre de combustion. Le couple (C) nécessaire à l'entraînement est fonction de la vitesse de rotation et de la température. Au début il croît fortement et diminue lorsque l'allumage se produit et que la machine accélère. À partir d'un certain régime ce couple devient nul et le moteur est dit autonome.

4.3.4.2 Alimentation en carburant

Cette fonction commande l'alimentation des injecteurs principaux et de démarrage. Les injecteurs de démarrage permettent la propagation de la flamme et l'allumage du carburant pulvérisé par les injecteurs principaux. L'alimentation en carburant est faite sous pression à

l'aide d'une pompe et le débit nécessaire au démarrage est déterminé par un dispositif de dosage spécifique.

4.3.4.3 Allumage

Cette fonction permet de réaliser l'inflammation du mélange carburé à l'aide d'étincelles produites par des bougies haute tensions.

4.3.4.4 Cycle de démarrage

Ce cycle est caractérisé par l'évolution des paramètres :

- température des gaz ;
- vitesse de rotation ;
- accélération.

4.4. Maintenance du PT6-A

4.4.1 Maintenance programmée

BEECH 1900D (REF: TTA-ME-02 Ed.02 Rev.01 : Jun 2015)

Ref : Beech 1900D Airliner Maintenance Manual 129-590000-15 Révision : B10 du mois d'Oct. 2015

VISITE	INTERVALLE
Visite de routine	50 heures en 4 phases (1st, 2nd, 3rd, 4th)
Visites spéciales	150 et 300 heures
Inspections détaillées progressives	200, 400, 600, 800, 1000, 1200 heures +/- 10 % (Non cumulable)
Inspections structurales	C.C.C.P Inspection (18 Mois)
	« A » check (12.000H / 16.000 C)
	« B » check (15.000 H / 20.000 C)
	« C » check (18.000 H / 24.000 C)
	« D » check (7.200 H) répétitive chaque 1200H (« E » check)
	« F » check (18.000 H)
	« G » check (24.000 H)
	« H » check (8.000 H)
	« I » check (1200 H / 2 ans)

Tableau 4.2 : Maintenance programmée du PT6A

4.4.2 Contrôles

L'activité de maintenance est aussi caractérisée par de nombreux contrôles fonctionnels ou d'états.

Ci-après, la liste de quelques contrôles types :

- Contrôle de puissance moteur (Power Assurance Check)
- Contrôle manuel de la libre rotation de l'ensemble tournant pour vérification de l'absence de frictions anormales

- Contrôle du temps d'autorotation (temps pour l'arrêt complet de l'ensemble tournant lors de l'arrêt moteur)
- Contrôle du jeu en bout de pales turbine
- Contrôle visuel de l'érosion compresseur avec outillage
- Contrôle visuel direct (entrée d'air, échappement, carters, liaisons, freinages, tuyauteries, accessoires...)
- Contrôle endoscopique de l'état des pièces internes
- Contrôle des jeux
- Contrôle des vibrations
- Contrôle de perméabilité (écoulement à travers certains éléments)
- Contrôle de fuites
- Contrôles fonctionnels divers (utilisation d'outillage de tests)

4.4.2.1 Contrôle endoscopique PT6A

Le contrôle endoscopique permet l'examen visuel des pièces internes à travers de petits orifices sans procéder au démontage.

4.4.2.2 Principe de l'endoscope

Il se compose d'une canne munie de fibres optiques qui conduisent la lumière et d'un système de vision constitué de lentilles. La lumière issue d'un générateur est froide et anti-déflagrante, ce qui permet les contrôles en milieu détonant.

Pour le contrôle, la canne est introduite par des orifices prévus à cet effet en différents points du moteur. Le déplacement et l'orientation de la canne permettent l'observation de la pièce complète.



Figure 4.15: Boroscope Olympus Iplex LX/LT

4.4.3 Application Abaque de Noiret

C'est une méthode quantitative qui nous permet de choisir la politique de maintenance sur un équipement, elle est considérée comme un outil d'aide à la décision.

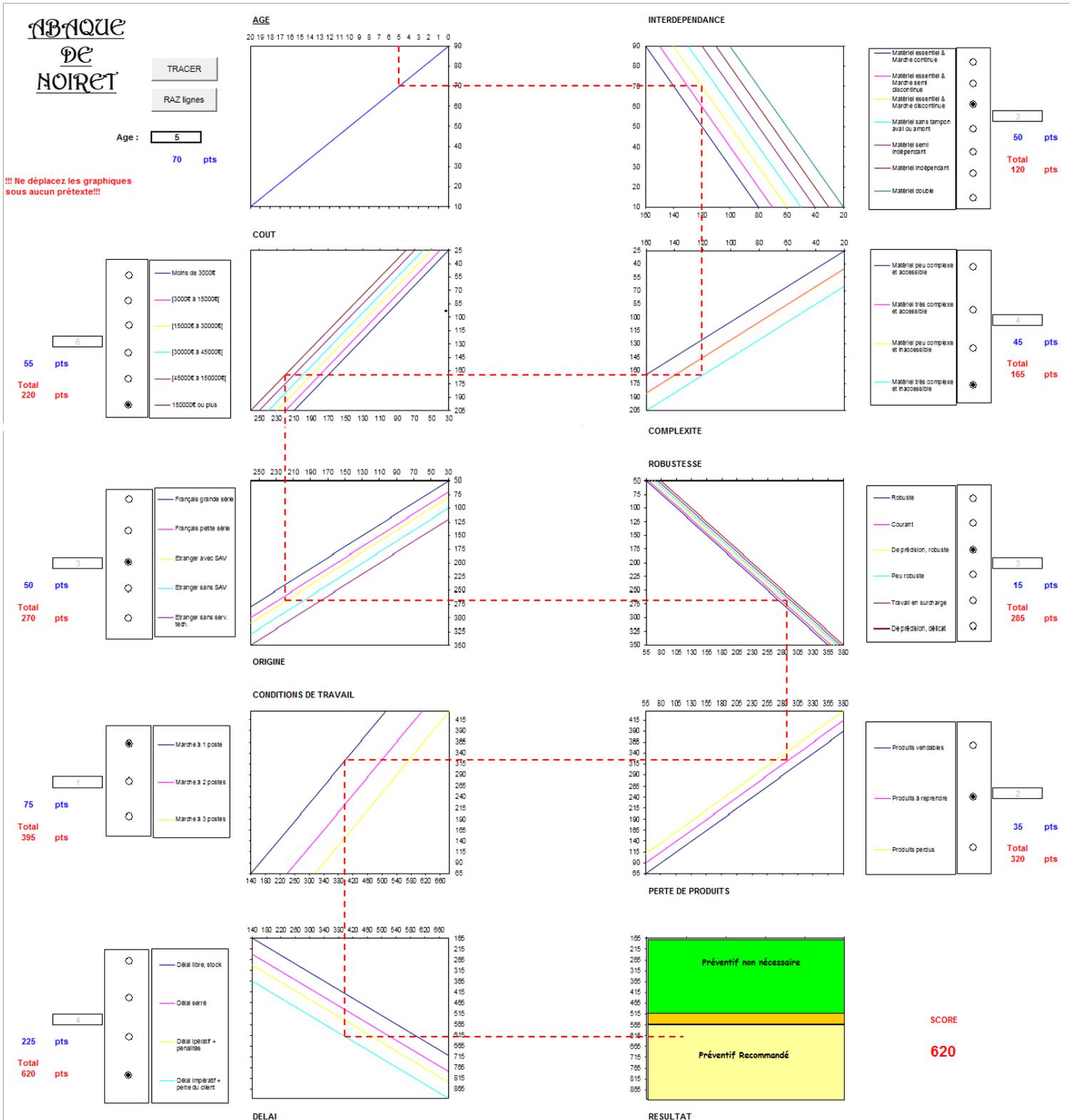


Figure 4.16 : Application abaque de Noiret sur PT6A

4.4.4 Problèmes de démarrage

Dans le tableau suivant en va associer toutes les causes possibles à chaque type de problème de démarrage

Problème	Causes possibles
1- Pas du RPM (N1 : nombre de tour par minute) lors du démarrage	1- Pas de puissance électrique générée par la génératrice
	2- Cisaillement de l'arbre de la génératrice – la génératrice ne tourne pas
	3- Les cannelures de l'arbre de la génératrice sont complètement usées- la génératrice ne tourne pas
	4- Indication N1 (vitesse du rotor à basse pression)défectueuse . Est-ce que la pression d'huile est élevée ?ça peut être un indicateur défectueux ou cisaillement de l'arbre.
	5- N1 système de rotor grippé - déposer la génératrice et essayez de tourner le commande d'entraînement.
2- RPM (N1 : nombre de tour par minute) insuffisante lors du démarrage	1- Voltage insuffisant pour démarrer. vérification de la source d'alimentation et des conducteurs. es que les batteries sont déchargées
	2- Vérification du système d'indication N1 RPM. L'indicateur peut être suspendu ou enfoncé
	3- Vérification des frottements de l'arbre N1. Vérifier le jeu des extrémités de la turbine. S'il existe, le compresseur frotte.
3- N1 RPM trop élevée avec une accélération rapide	1- L'arbre d'entrée de la boîte d'entraînement d'accessoire est déconnecté. Une nouvelle tentative de démarrage en déclenchant le carburant entrainera une surcharge de température
4- Démarrage retardé	1- Procédure de démarrage incorrecte. Consulter le manuel de vol
	2- Fuel manifold adapter (la rampe de distribution de carburant) mal positionné
	3- Etranglement des injecteurs carburant. Inspection du débit des injecteurs
	4- Présence de l'air dans le circuit carburant. Purger le système, et chercher la cause du pénétration de l'air
	5- Inspecter les bougies. remplacement selon état
	6- Inspecter l'excitateur de d'allumage. Inspecter lors du réallumage en vol. remplacement selon état
	7- Inspecter la tension de l'excitateur de d'allumage. La faible tension peut s'accompagner d'une faible vitesse de fissuration qui peut causer démarrage chaud
5- Ne parvient pas à s'allumer	1- Procédure de démarrage incorrecte. Consulter le manuel de vol

	obstruction, fissuré et non attaché. Vérifier le filtre P3 pour contamination.
	3- Le fuel surmontant le régulateur affecte la tuyauterie Py de La section pneumatique du régulateur hélice
	4- Obturation de la tuyauterie Py et aussi Obturation du limiteur du couple
	5- Corrosion et givrage de la section inférieure de l'unité de contrôle carburant. Remplacer la FCU
	6- Contamination ou mauvaise état de l'unité de contrôle carburant. Inspecter les filtres et la vanne de dérivation.
	7- Démarrage avec surchauffe. Inspecter les sorties de la SFC dump. si il draine remplacer l'unité
7- Démarrage à chaud	1- Une technique de démarrage incorrecte est généralement causée par l'entrée avancée du carburant et / ou l'élimination anticipée
	2- Une tension insuffisante pour le démarreur entraîne un régime de démarrage inférieur à la normale et une perte d'assistance au démarreur
	3- Un démarrage déficient-remplacer l'unité
	4- Vanne de décharge moteur purge l'air ouvert ou fuit
	5- Les bougies d'allumage retardées-vérifier le system
	6- Débit de carburant d'arrêt minimum trop élevé –remplacer unité de control carburant FCU
	7- L'utilisation minimale des injecteurs-suivre la vérification des injecteurs
	8- Incorrect FCU-commencer le gréage
	9- Adaptateurs de collecteur d'essence dans la mauvaise position - vérifiez la position appropriée par un service bulletin
	10- La vanne de transfert du contrôle de démarrage est bloquée, retirez la vanne, nettoyez et polissez. Entraînera un flux de carburant secondaire pendant le cycle de démarrage
	11- La vanne de vidange dans le diviseur de flux collé fermé-remplacer l'unité - ne permettra pas au carburant de voler
	12- Indicateur N1 défectueux

Tableau 4.3 : Tableau étude AMDEC PT6A

4.4.4.1 Arbre de défaillance

Dans les figures suivantes nous allons établir l'arbre de défaillance liés aux problèmes de démarrage :

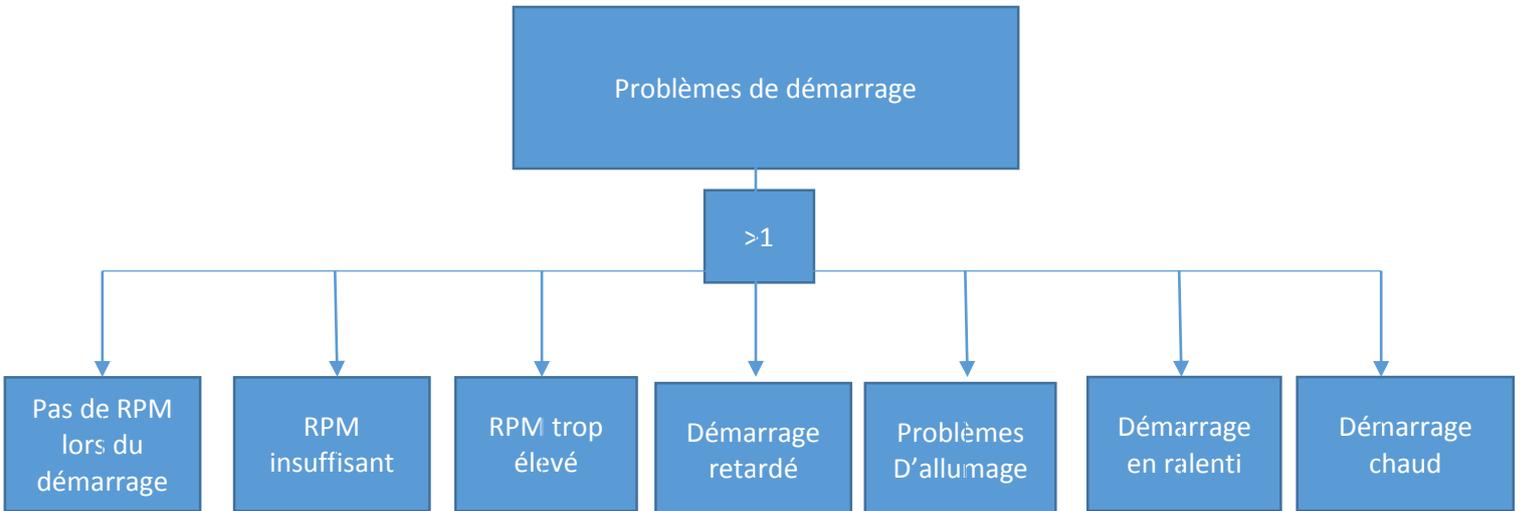


Figure 4.17 : Arbre de défaillances problème de démarrage

Suite pas de RPM pendant tentatives de démarrage

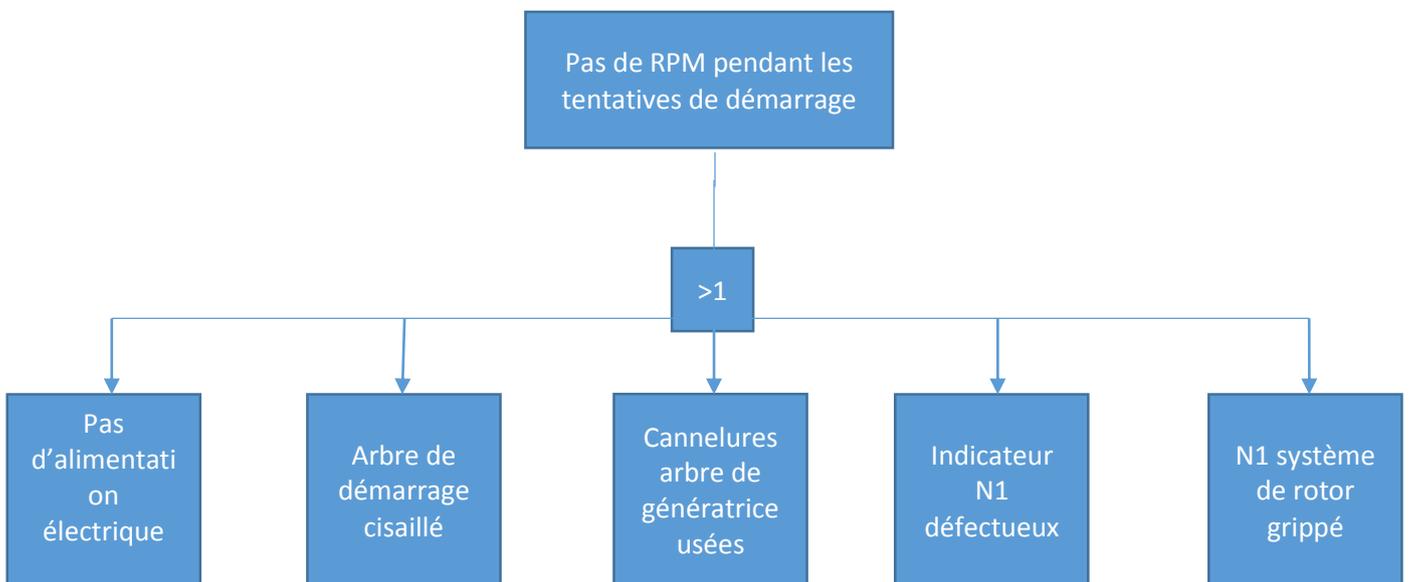


Figure 4.18 : Arbre de défaillances pas de RPM pendant tentatives de démarrage

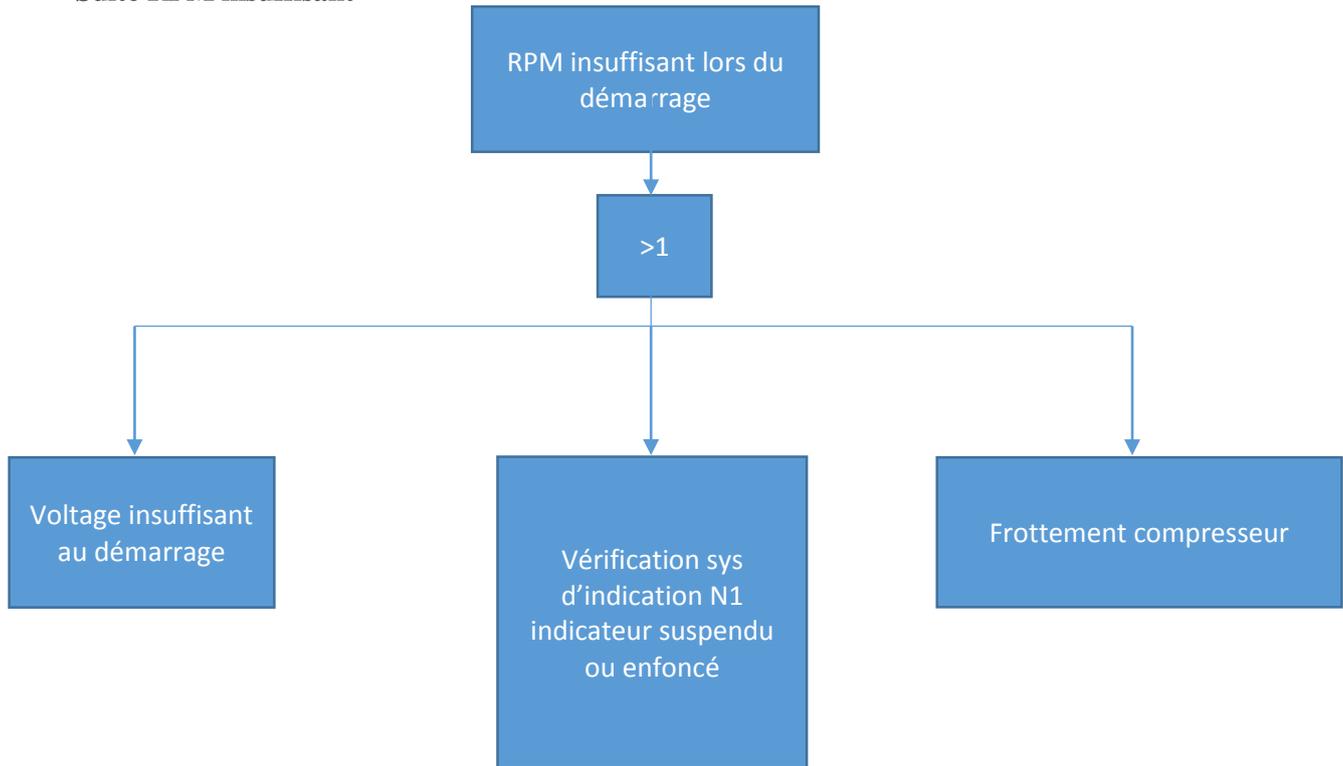
Suite RPM insuffisant

Figure 4.19 : Arbre de défaillances RPM insuffisant lors du démarrage

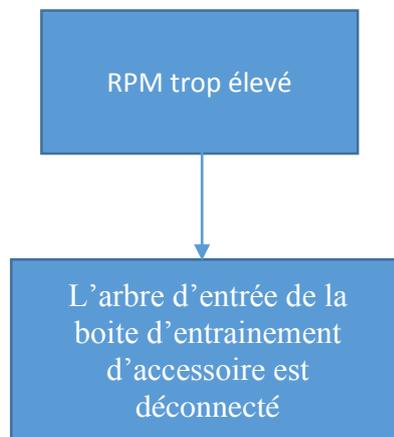
Suite RPM trop élevé

Figure 4.20 : Arbre de défaillances RPM trop élevé

Suite démarrage retardé

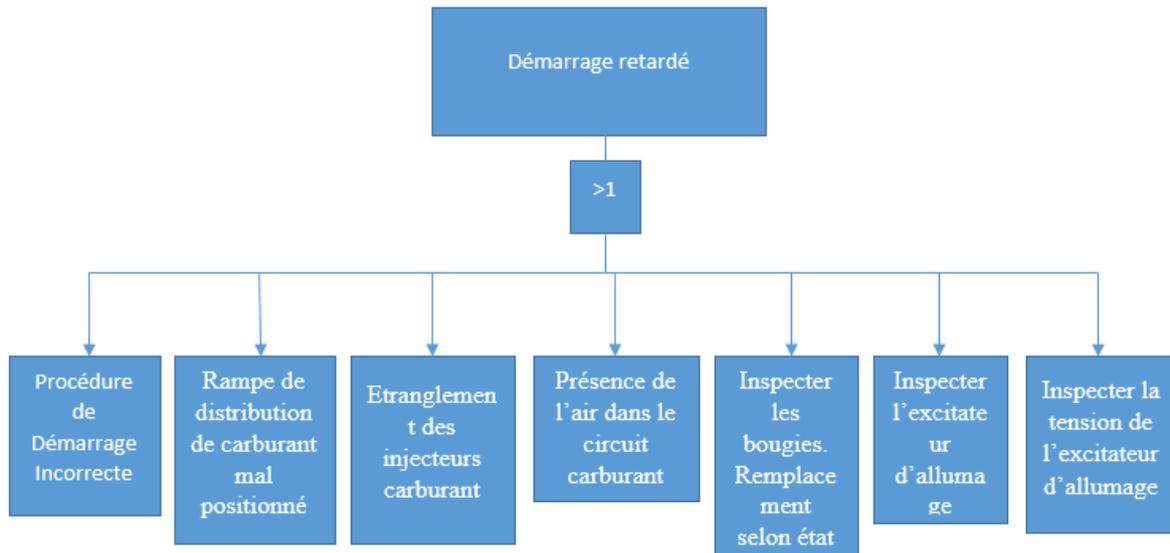


Figure 4.21 : Arbre de défaillances démarrage retardé

Suite problèmes d'allumage

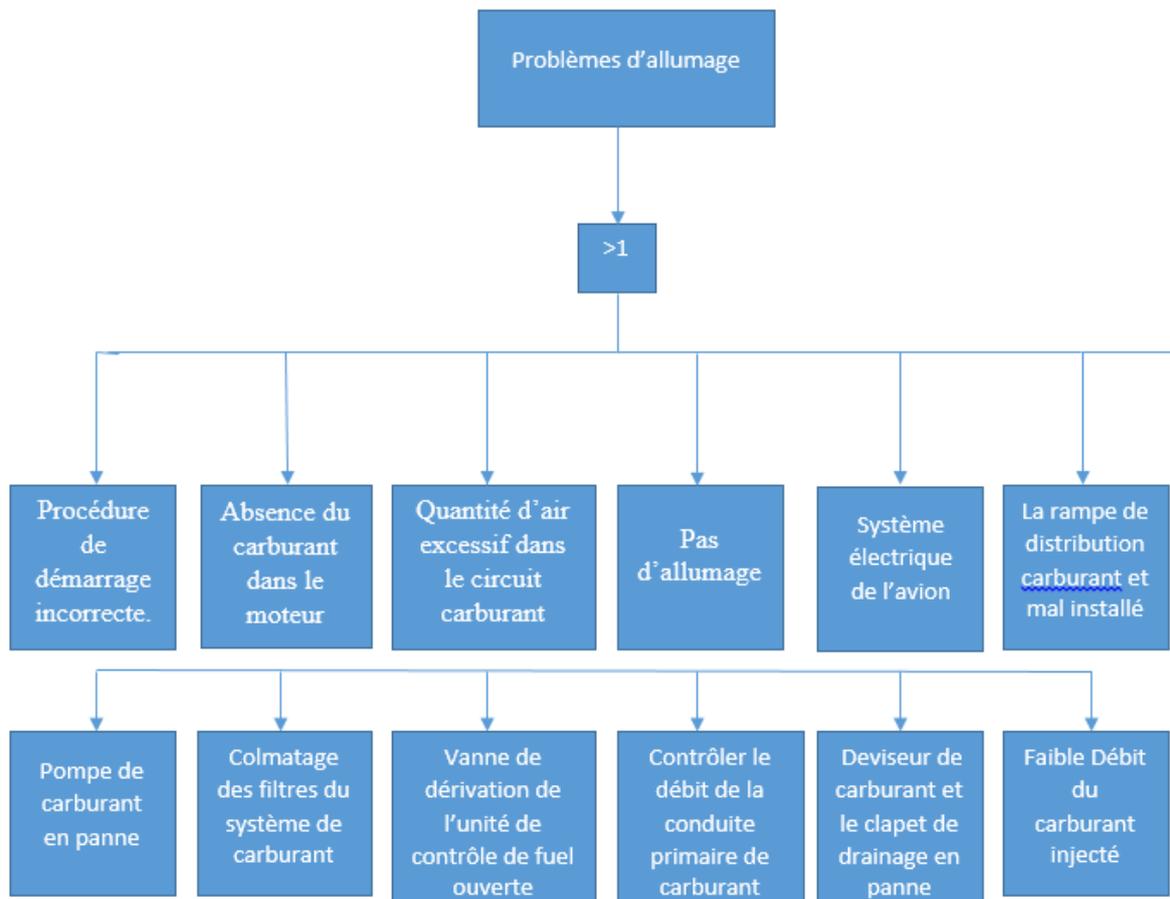


Figure 4.22: Arbre de défaillances problèmes d'allumage

Suite problèmes démarrage lent en ralenti

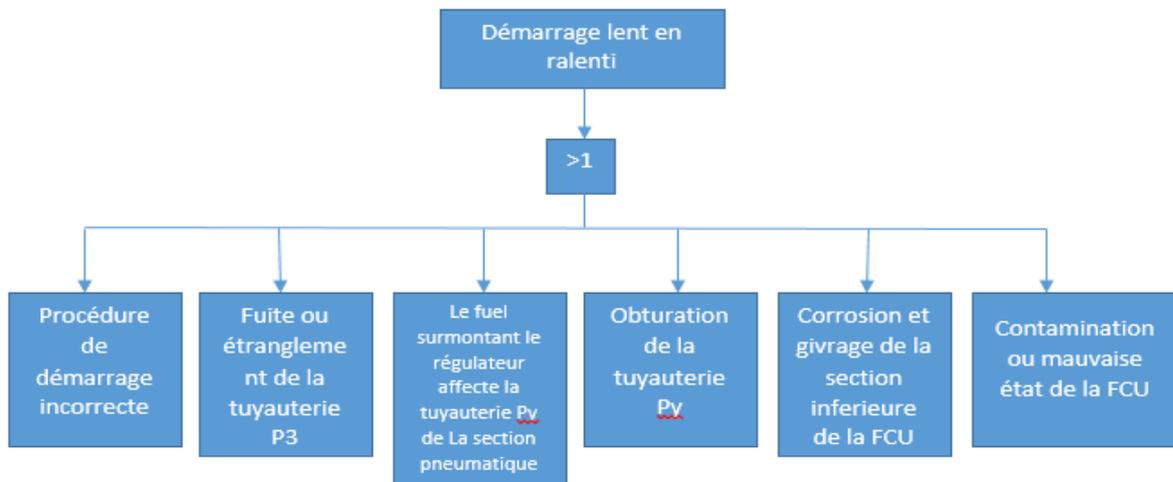


Figure 4.23 : Arbre de défaillances démarrage lent en ralenti

Suite problèmes démarrage chaud

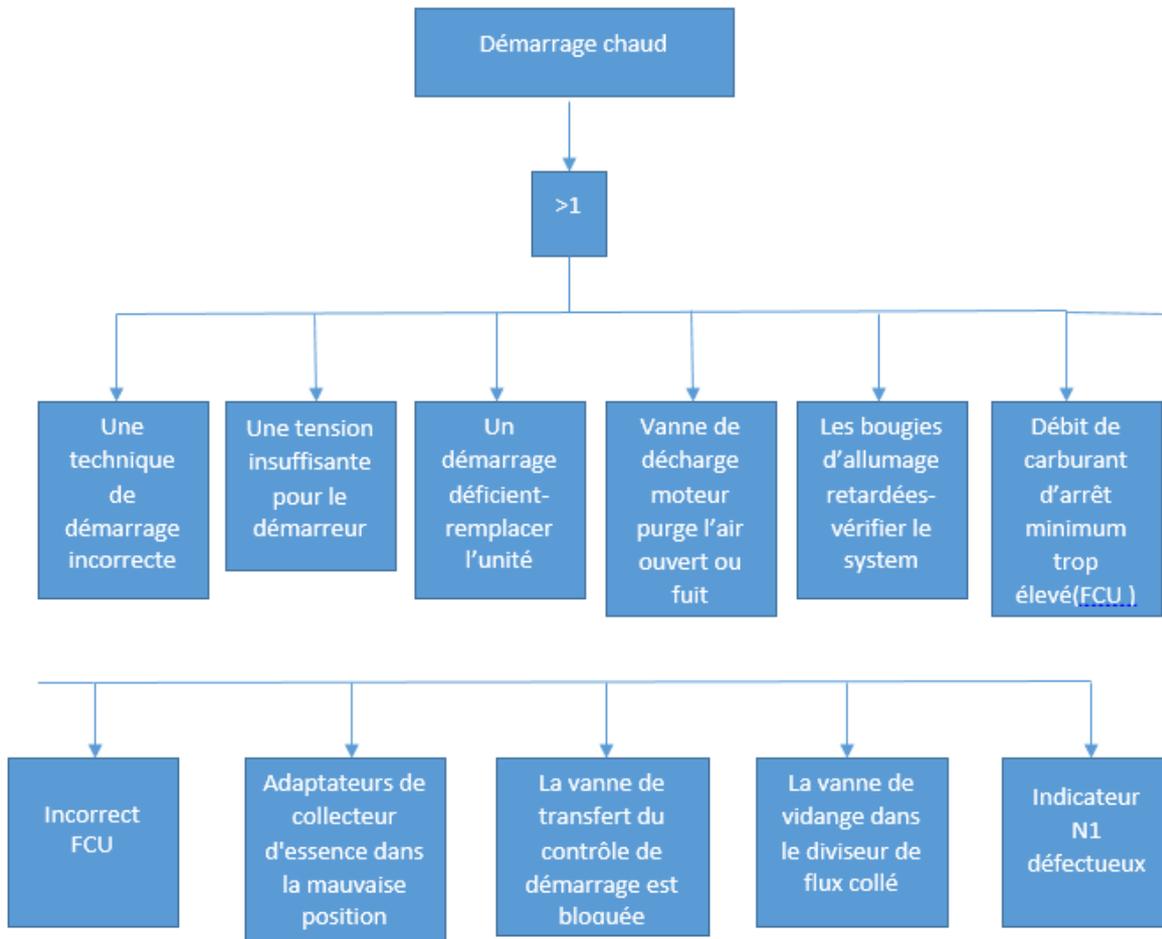


Figure 4.24 : Arbre de défaillances démarrage chaud

4.4.4.2 Etude AMDEC

Fonction	Matériel ou sous ensemble	Mode de défaillance	Cause	Effet	G	F	D	C	Détection	Action
Démarrage	Batterie	Pas D'alimentation électrique	Batterie faible Mauvaise connectique	Pas de RPM lors du démarrage						
	Batterie	Tension insuffisante du démarreur	Batterie faible Câblage	RPM insuffisant lors du démarrage						
	Arbre de démarrage	Démarreur tourne seul	Arbre de démarrage cisailé	Pas de RPM lors du démarrage						
	Cannelure	Démarreur tourne seul	Cannelures de l'arbre de démarrage usées	Pas de RPM lors du démarrage						
	Indicateur N1	Pas d'indication	Indicateur N1 défectueux	Pas de RPM lors du démarrage						
	Système indicateur N1	RPM faible RPM raccroché RPM collé	Système D'indication N1 en panne	RPM insuffisant lors du démarrage						
	Rotor	Compresseur se frotte	Frottement du rotor	RPM insuffisant lors du démarrage						
	Arbre d'entrée de la boîte de vitesse		Arbre débranché	N1 RPM trop élevée avec une accélération rapide						
		Panne au démarrage	Technique de démarrage inapproprié	Démarrage retardé						
	Adaptateur De collecteur de carburant		Adaptateur de collecteur de carburant mal	Démarrage retardé						

			positionné						
	Injecteur	Débit de carburant insuffisant	Pas d'injection ou débit insuffisant	Démarrage retardé					
	Circuit de carburant		Ingestion ou présence d'air dans le circuit	Démarrage retardé					
	Allumage	Pas d'étincelle a l'allumage	Allumeur d'étincelle défectueux	Démarrage retardé					
	Allumage	Pas d'étincelle a l'allumage	Excitateur d'allumage défectueux	Démarrage retardé					
	Allumage	Voltage de l'excitateur à l'allumage faible	Voltage Insuffisant	Démarrage retardé					
		Ne parvient pas à s'allumer	Technique de démarrage inapproprié	Défaut Allumage					
		Ne parvient pas à s'allumer	Pas de carburant pour le moteur	Défaut Allumage					
	Circuit de carburant	Air excessif dans le circuit d'air	Ingestion d'air	Défaut Allumage					
	Allumeur ou excitateur d'allumage	Pas d'allumage	Allumeur ou excitateur d'allumage défectueux	Défaut Allumage					
	Collecteur de carburant		Adaptateur de collecteur de carburant incorrectement installé	Défaut Allumage					
	Pompe à carburant	Pas assez de pression pendant le démarrage	Panne pompe à carburant	Défaut Allumage					
	Circuit d'alimentation	Carburant ne passe pas	Circuit d'alimentation	Défaut Allumage					

			contaminé						
	FCU	Carburant non contrôlé	FCU défectueuse	Défaut Allumage					
Démarrage		Démarrage incorrecte	Entrée de carburant trop tôt	Démarrage chaud					
		Démarrage inférieur au RPM normal (perte d'aide au démarrage)	Tension insuffisante	Démarrage chaud Démarrage chaud					
	Démarrage défectueux			Démarrage chaud					
	Purgeur d'air		Purgeur d'air ouvert ou fuite	Démarrage chaud					
	Allumage		Retard d'allumage	Démarrage chaud					
	FCU	Arrêt réglage minimum débit de carburant	Quantité carburant injecté insuffisant	Démarrage chaud					
	Injecteur		Pulvérisateur en panne (carburant n'atteint pas l'allumeur)	Démarrage chaud					
	Adaptateur collecteur de carburant		Adaptateur mal positionné	Démarrage chaud					
	Indicateur N1		Indicateur N1 Défaillant (entrée anticipé du carburant)	Démarrage chaud					

Tableau 4.4 : Tableau d'application méthode AMDEC

On a pas pu terminer l'étude AMDEC à cause du manque d'informations des historiques d'appareils, du coup on a pas pu paramétrer la criticité (gravité, fréquence d'apparition, détection) ainsi le manque d'information de l'action corrective suite au interventions de maintenance.

4.4.4.3 Outil d'aide au diagnostic

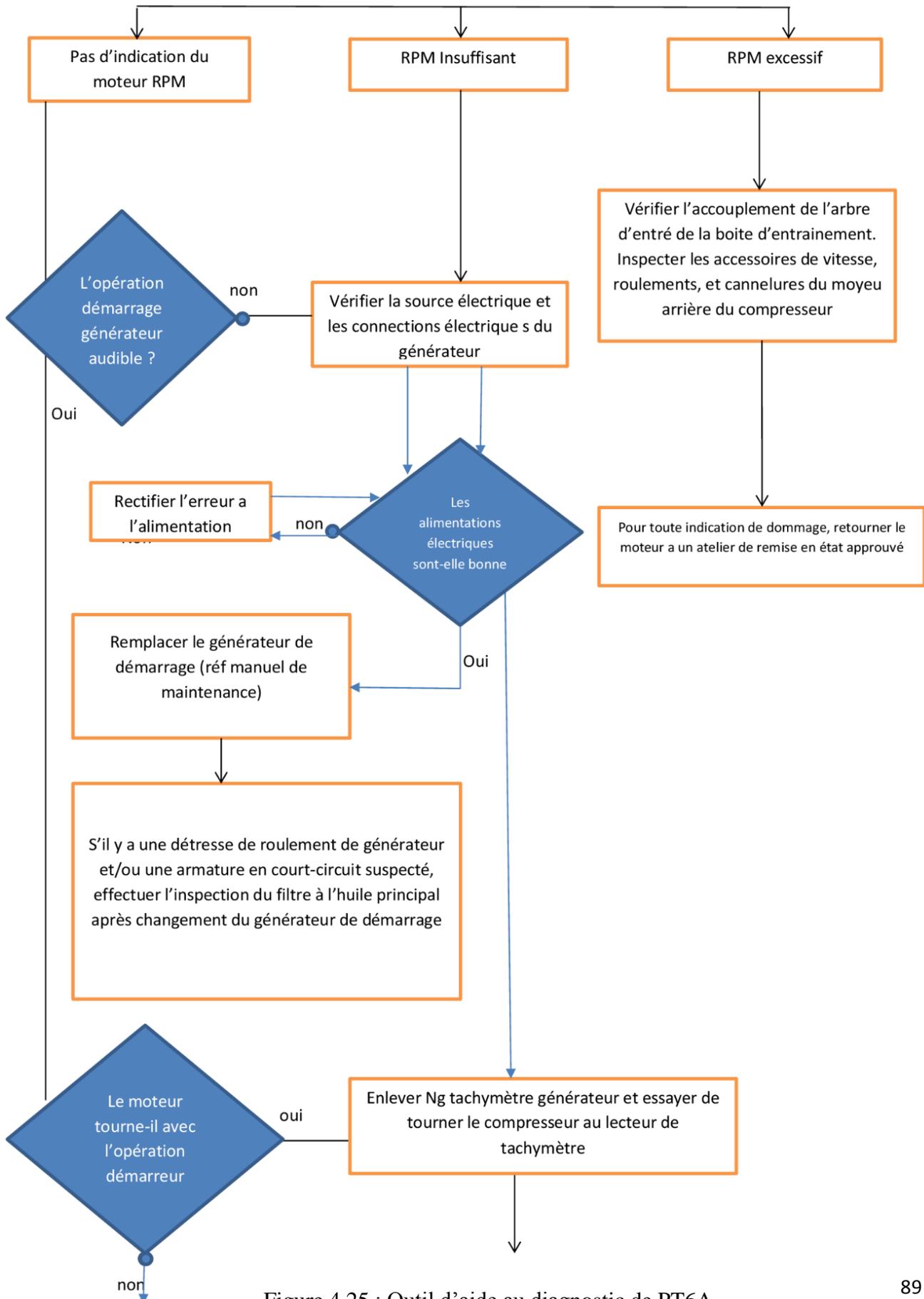


Figure 4.25 : Outil d'aide au diagnostic de PT6A

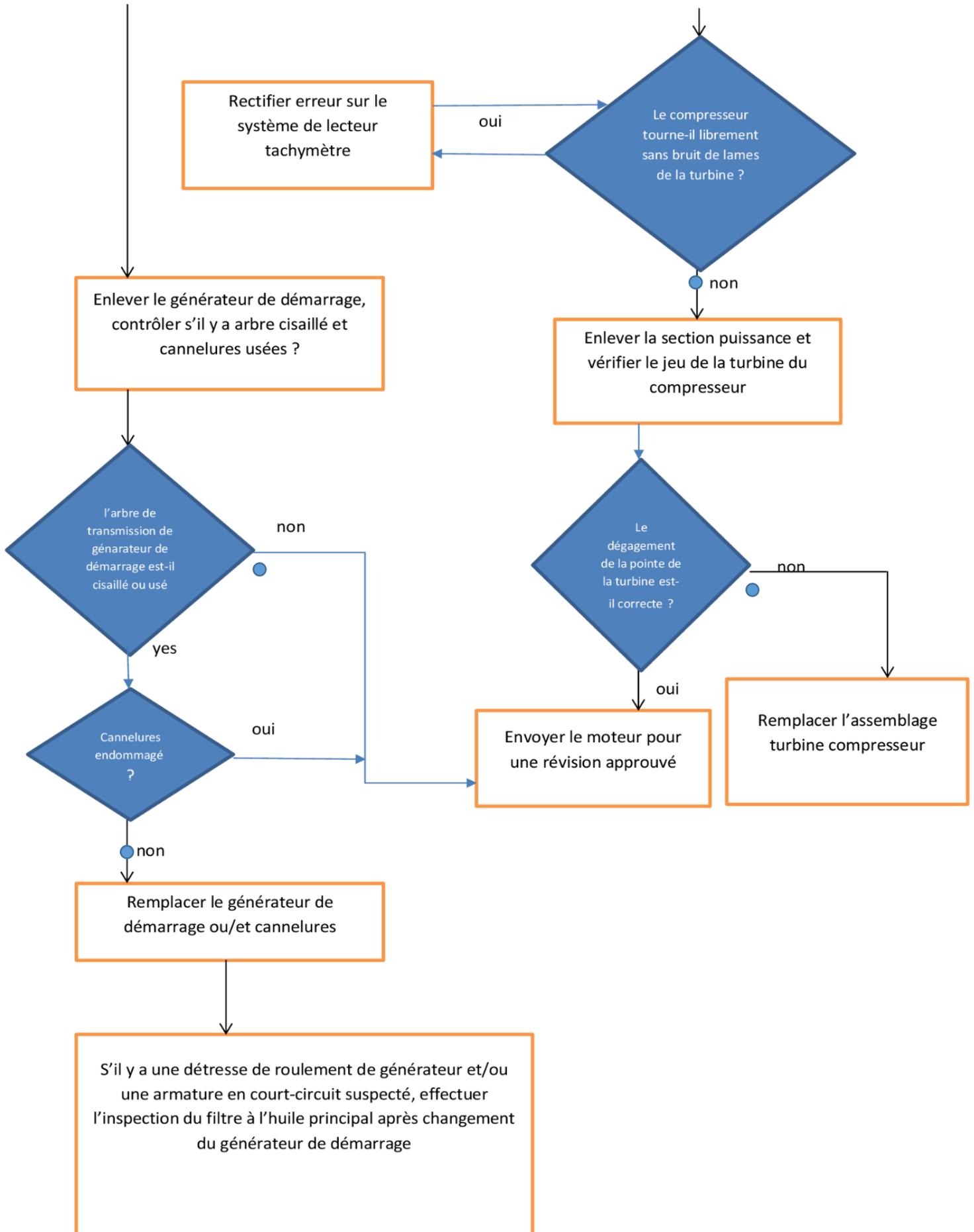


Figure 4.25 : Outil d'aide au diagnostic de PT6A

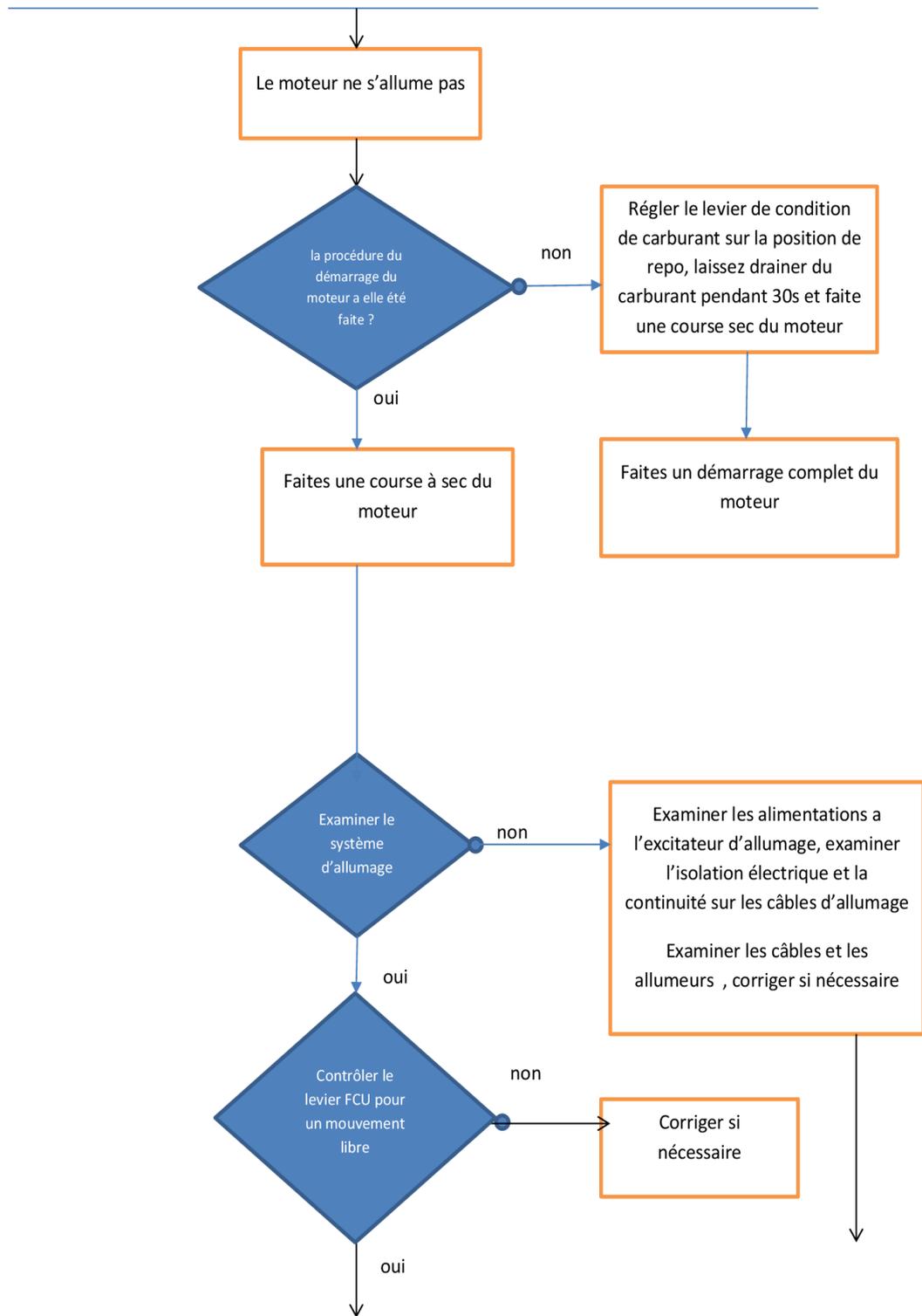


Figure 4.25 : Outil d'aide au diagnostic de PT6A

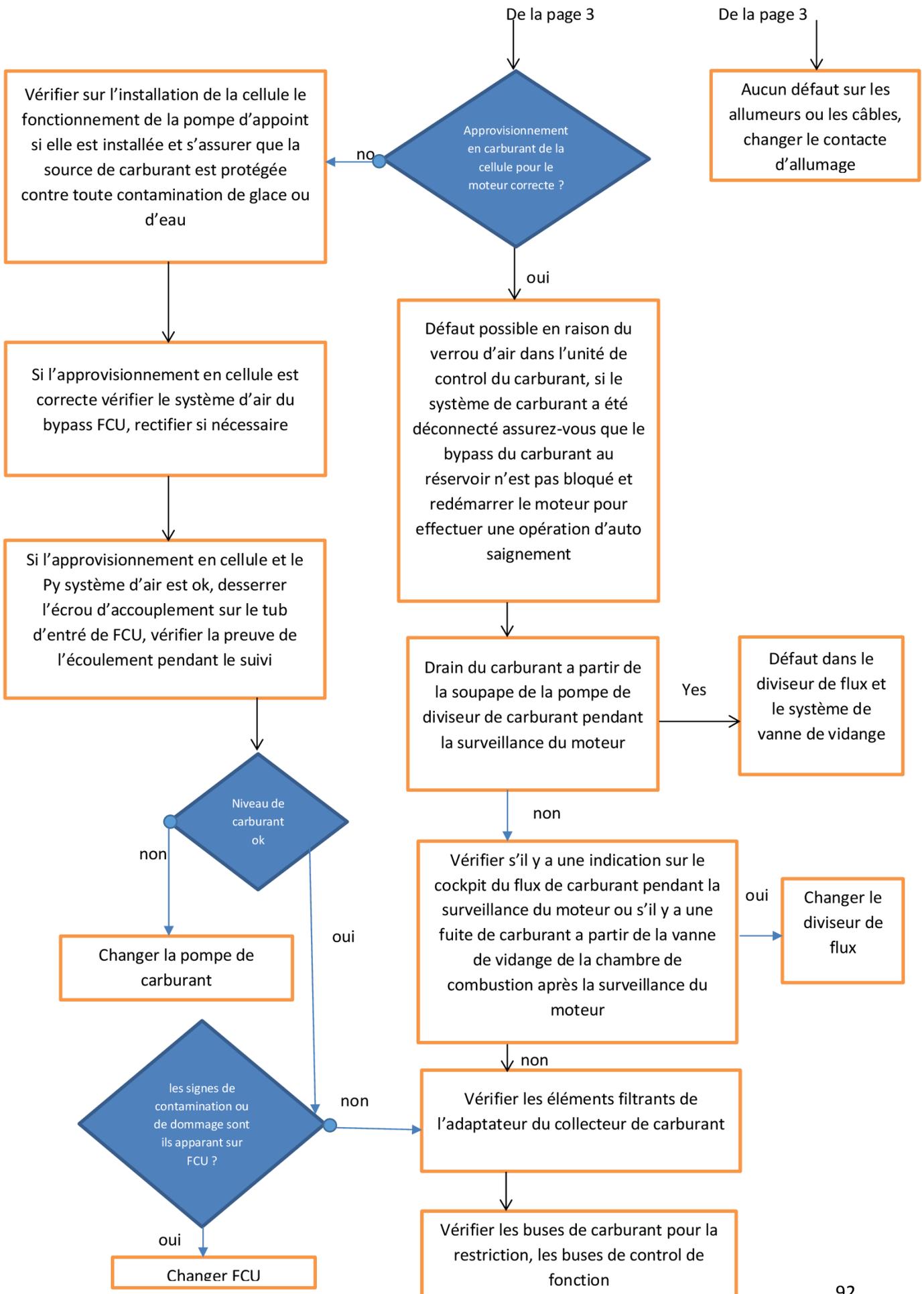


Figure 4.25 : Outil d'aide au diagnostic de PT6A

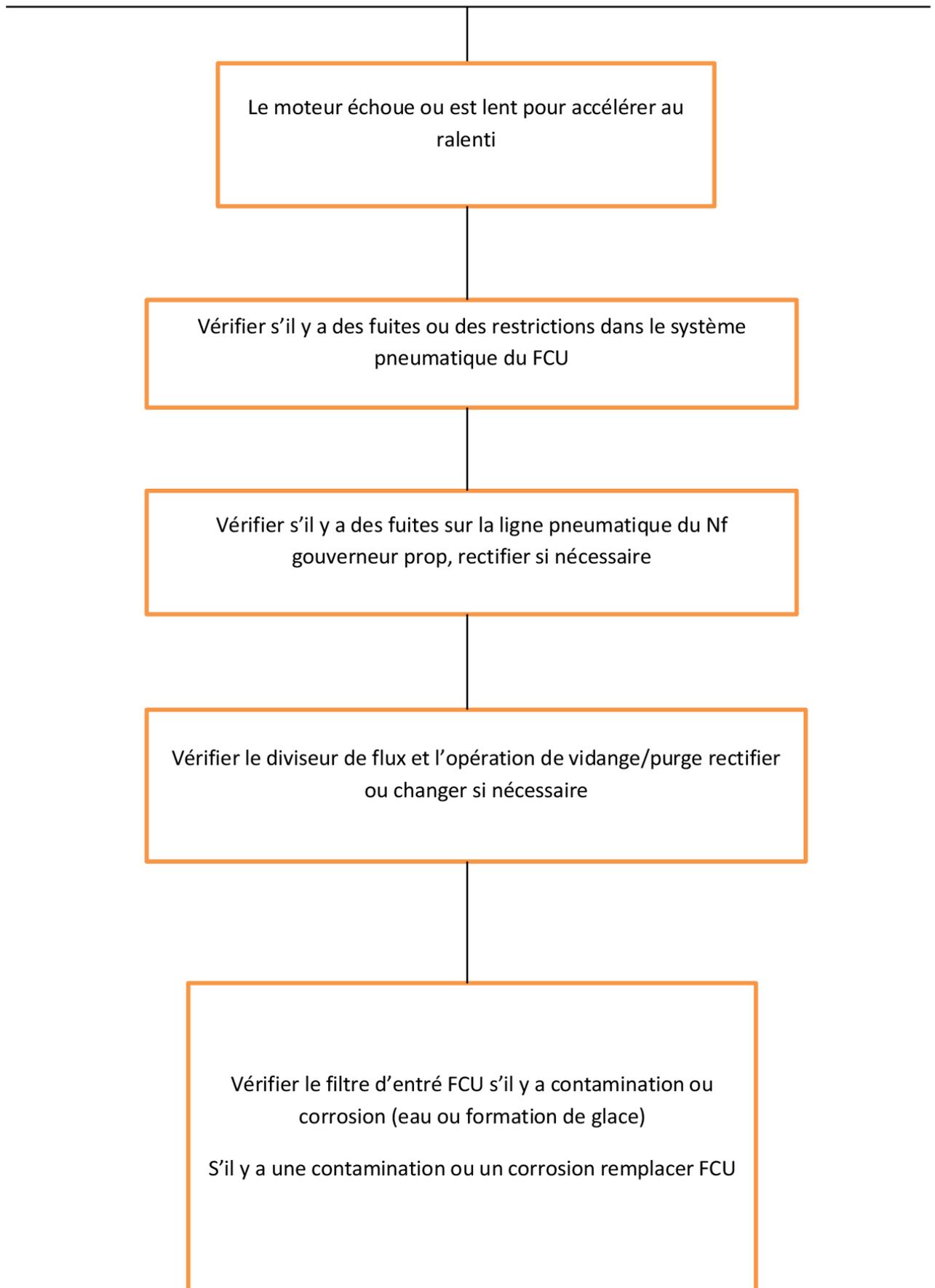


Figure 4.25 : Outil d'aide au diagnostic de PT6A

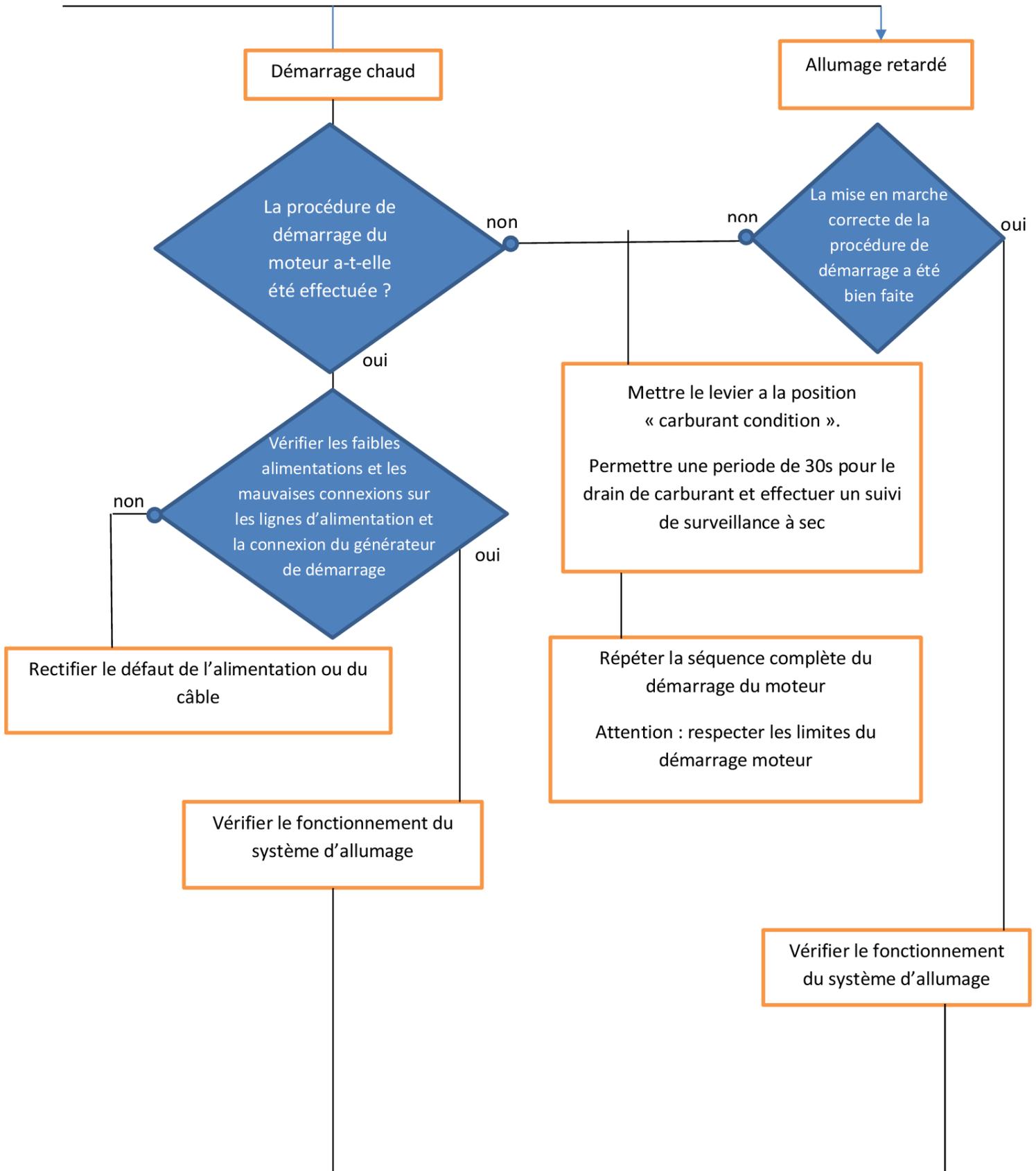


Figure 4.25 : Outil d'aide au diagnostic de PT6A

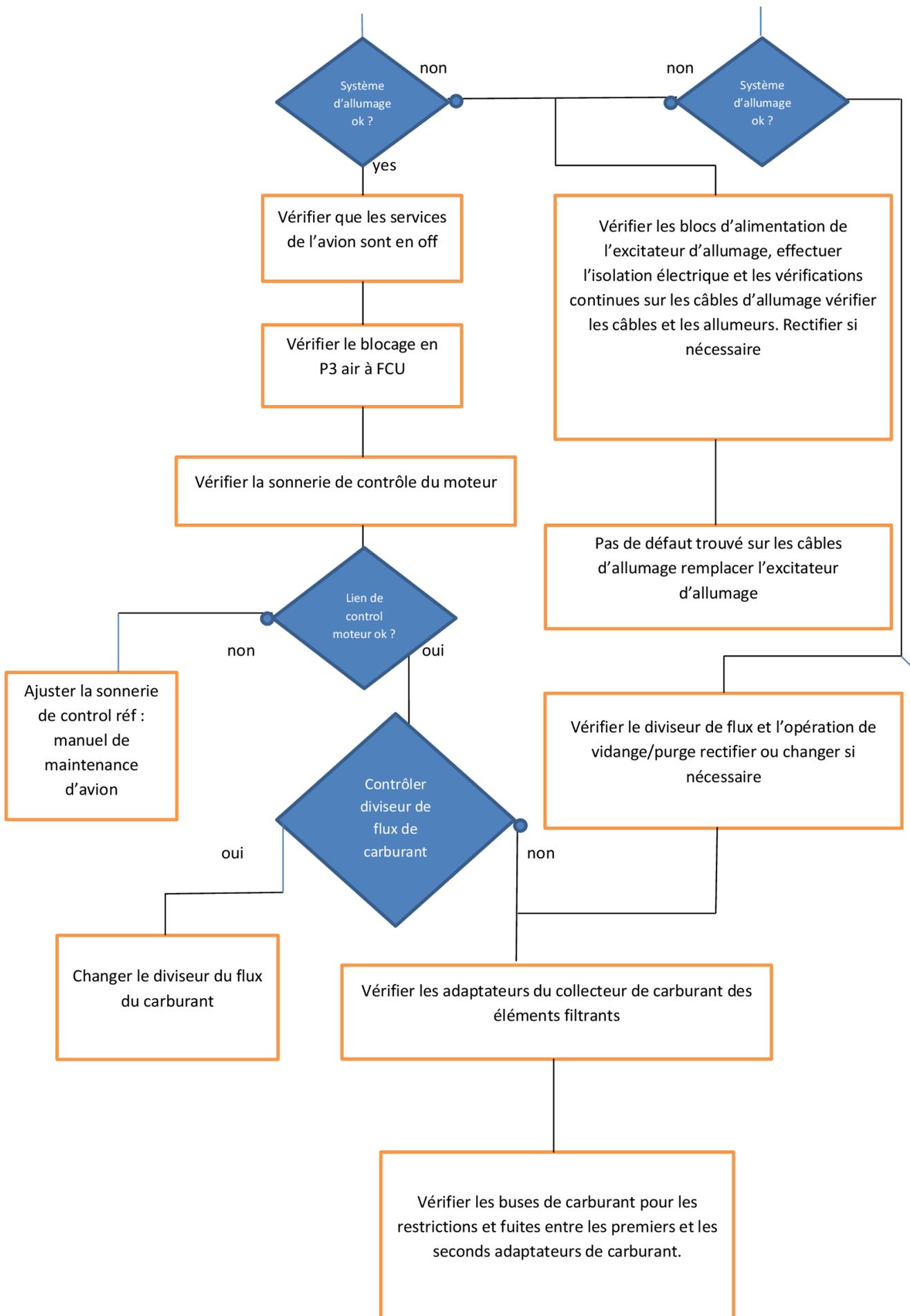


Figure 4.25 : Outil d'aide au diagnostic de PT6A

Conclusion

Dans ce chapitre on a étudié le turbopropulseur PT6A installé sur un Beechcraft 1900d, et nous avons structuré l'arbre de défaillance liés aux problèmes de démarrages puis on a réalisé l'étude AMDEC, enfin nous avons terminé le chapitre par la contribution d'un outil d'aide au diagnostic.

Conclusion générale

Ce travail consiste à l'étude des mesures préventives et correctives par l'analyse quantitative et qualitative des scénarios de défaillances.

Le turbo propulseur PT6A est étudié dans l'entreprise TASSILI TRAVAIL AERIEN où nous nous sommes intéressés en particulier aux problèmes de démarrage du moteur.

Nous avons commencé par définir le modèle PT6A et expliquer son mode de fonctionnement avec ses principaux organes structuraux et ses différents sous-systèmes.

Nous avons appliqué la méthode arbre de défaillance pour l'analyse qualitative où on a dressé des arbres de défaillances de chaque sous système du moteur qui sont en relation avec le démarrage du moteur.

Cela nous a permis d'identifier tous les scénarios de défaillances de chaque sous-système avec les fonctions logiques correspondantes et les causes de défaillances propre au démarrage.

Suite aux arbres de défaillance, on a essayé d'élaborer un programme d'intervention automatisé sous forme d'algorithme permettant de résoudre les problèmes liés au démarrage.

Le but de cette automatisation est de rendre l'identification lors de l'opération de maintenance beaucoup plus efficace et plus rapide afin de réduire le temps des interventions et en contrepartie augmenter la disponibilité du PT6A.

Enfin comme perspective future nous recommandons que les historiques soient plus détaillés avec le maximum d'informations complémentaires comme les temps d'arrêt exacte (temps d'indisponibilité), et les détails correspondants aux pannes (actions correctives, causes exactes et pièces de rechanges) et le moyen de détection afin qu'on puisse paramétrer le critère de criticité de chaque défaillance afin de pouvoir achever la méthode AMDEC

Bibliographie

- [1] François Blondel -Aide-mémoire Gestion industrielle – Dunod - Paris 2006
- [2] Benali. L - Maintenance industrielle - Alger : office des publications universitaires.1, place centrale de ben aknoun-2006
- [3] Heng .J - Pratique de la maintenance Préventive : Mécanique, pneumatique, Hydraulique, Electricité, Froid - Editions DUNOD - 2002.
- [4] Monchy .F, Vernie J-P - MAINTENANCE, Méthodes et organisations - 3éme édition - Dunod - Paris 2003.

Webographie

- [5] perso.esiee.fr/~alanit/cours_diagnostic/diagnostic/diagnostic.pdf
- [6] <http://tpmattitude.fr/defail.html>
- [7] <http://www.technologuepro.com/maintenance-industrielle/chapitre-5-analyse-des-defaillances-et-aide-au-diagnostic.pdf>
- [8] <http://crta.fr/wp-content/uploads/2013/07/59-Maintenance-labaque-de-Noiret.pdf>
- [9] <https://www.lavionnaire.fr/MotorTurboProp.php>