

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté des Sciences de L'Ingénieur  
Département Génie Mécanique

## Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :

**Filière : Génie Mécanique**  
**Option : Mécatronique**

### THEME

Supervision Du Système D'Atterrissage De L'Avion  
DASH 8 Q-400

Présenté par :

BOUTOUTAOU Med ElAmine  
SLYEMI Fawzi

Promoteur : Mr.TOUATI.Y

Co- promoteur : Mr.KEBIECHE.M

**Promotion 2017- 2018**

## REMERCIEMENTS

*Nous tenons à remercier ALLAH tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté pour élaborer ce modeste travail.*

*Nous remercions Dr TOUATI Youcef d'avoir bien voulu accepter d'être notre promoteur dans l'élaboration de ce mémoire.*

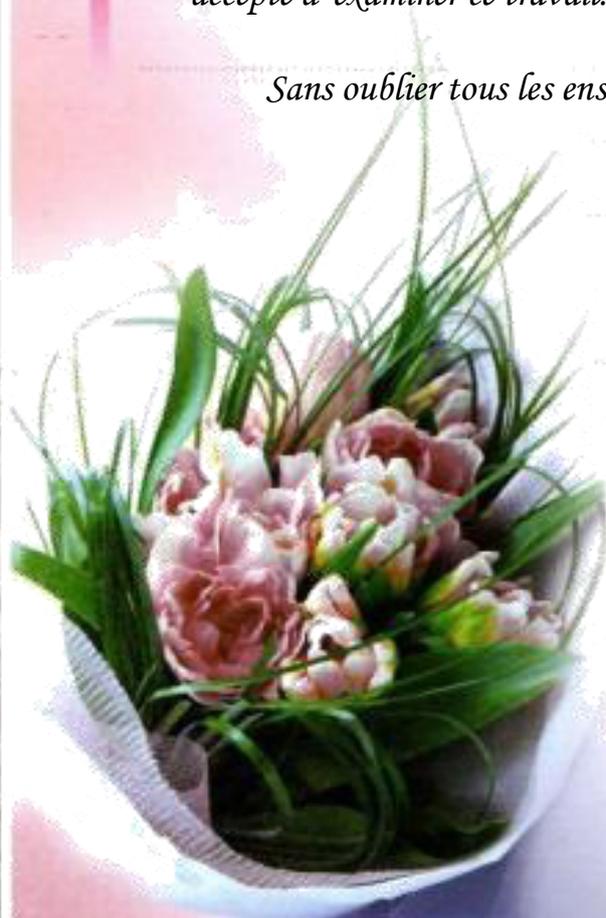
*Nous adressons aussi nos vifs remerciements à nos encadrateurs Mr KEBIECHE Mouloud pour leur précieuse aide et leur Conseils judicieux tout au long de notre travail.*

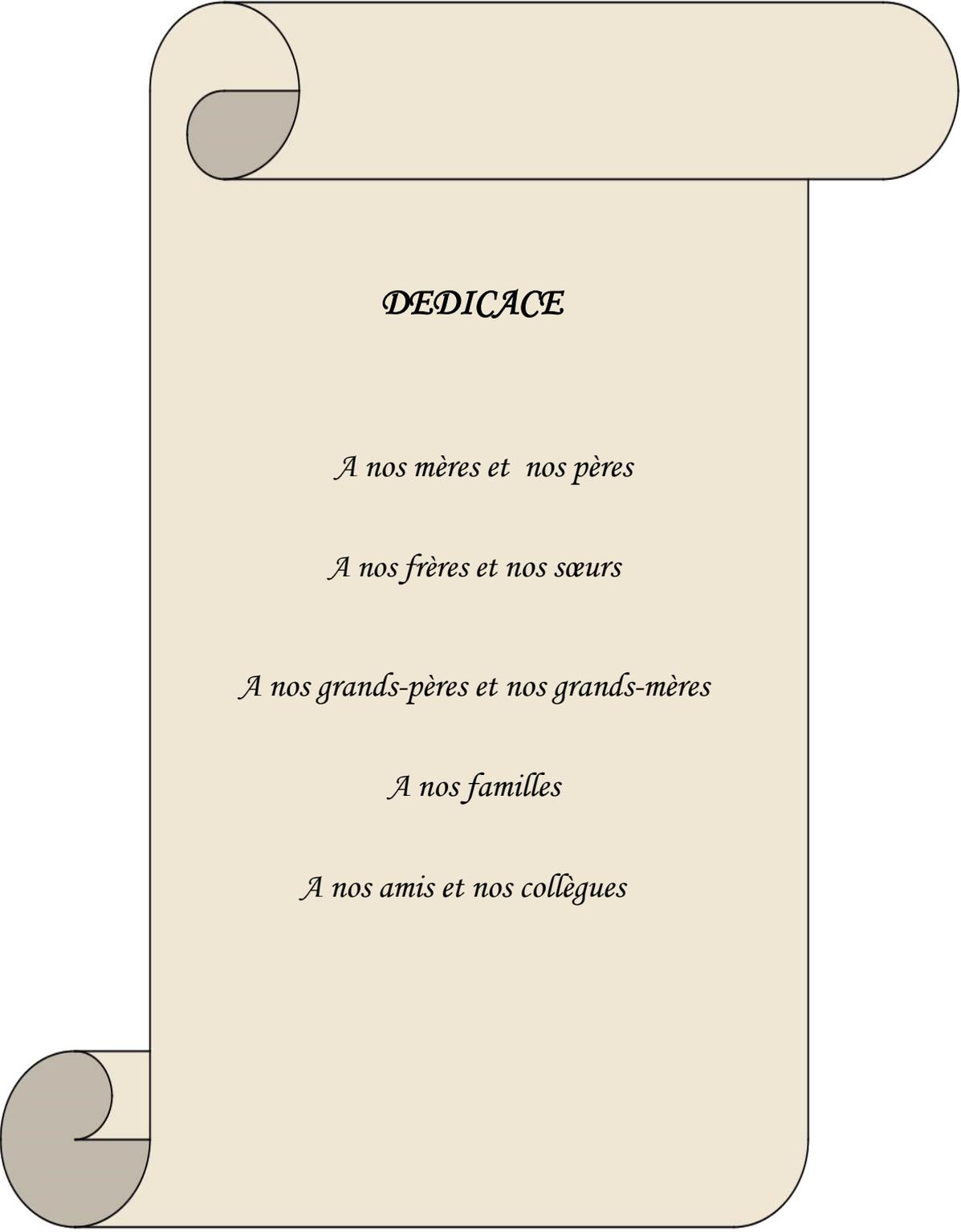
*Sans oublier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la finalisation de ce mémoire.*

*Nos remerciements vont aussi aux messieurs les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Sans oublier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.*

*Fawzi Et Amine*





**DEDICACE**

*A nos mères et nos pères*

*A nos frères et nos sœurs*

*A nos grands-pères et nos grands-mères*

*A nos familles*

*A nos amis et nos collègues*

# SOMMAIRE

## *Table des Matières*

<b>TABLE DES FIGURES</b> .....	<b>1</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>4</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>5</b>

## *Chapitre I : Présentation de la compagnie de tassili Airlines*

<b>I.1</b> Introduction: .....	<b>6</b>
<b>I.2</b> Historique : .....	<b>6</b>
<b>I.3</b> flotte :.....	<b>7</b>
<b>I.4.</b> FILIALES : .....	<b>8</b>
<b>I.4.1</b> La TTA .....	<b>8</b>
<b>I.4.2</b> Segments de marché de TTA Spa :.....	<b>8</b>
<b>A-</b> HYDROCARBURES .....	<b>8</b>
<b>B-</b> AGRICOLE .....	<b>8</b>
<b>C-</b> AUTRES .....	<b>8</b>
<b>I.4.3</b> Flotte TTA :.....	<b>9</b>
<b>I.5.</b> Organigramme Général de « TASSILI AIRLINES » : .....	<b>10</b>
<b>I.6.</b> Présentation du service : .....	<b>11</b>
<b>I.6.1</b> Organigramme de la direction technique : .....	<b>11</b>
<b>I.6.2</b> Organigramme de la sous-direction des ateliers : .....	<b>12</b>
<b>I.6.3</b> Département composants principaux :.....	<b>13</b>
<b>I.7.</b> Destinations: .....	<b>13</b>
<b>I.8.</b> Conclusion.....	<b>14</b>

## *Chapitre II : Le Train D'Atterrissage*

<b>II.1.</b> Introduction : .....	<b>15</b>
<b>II.2</b> La constitution du train d'atterrissage .....	<b>16</b>
<b>II. 2.1.</b> Le train principal .....	<b>16</b>
<b>II.2.2.</b> Le train secondaire .....	<b>16</b>
<b>II.2.3.</b> Les particularités .....	<b>16</b>
<b>II.3.</b> Les différentes sortes de train d'atterrissage.....	<b>17</b>
<b>II.3.1.</b> Le train d'atterrissage classique .....	<b>17</b>

<b>II.3.2.</b> Le train d'atterrissage tricycle.....	17
<b>II.4.</b> Les différents types de train d'atterrissage .....	18
<b>II.4.1.</b> Le train d'atterrissage fixe .....	18
<b>II.4.2.</b> Le train d'atterrissage escamotable ou rentrant .....	18
<b>a-</b> Le dispositif de relevage.....	20
<b>b-</b> Le système de verrouillage .....	20
<b>c-</b> La sortie de secours du train rentrant.....	21
<b>II.5.</b> Les freins de train d'atterrissage .....	21
<b>II.5.1.</b> Les différents types de freins.....	22
<b>a-</b> Les freins à mâchoires .....	22
<b>b-</b> Les freins à disques.....	22
<b>II.6.</b> Les efforts du train d'atterrissage .....	23
<b>II.6.1.</b> Les forces massiques .....	23
<b>II.6.2.</b> Les forces de liaison .....	23
<b>II.6.3.</b> Les forces de contact .....	23
<b>II.7.</b> La structure du train d'atterrissage .....	23
<b>II.8.</b> Les amortisseurs du train d'atterrissage.....	24
<b>II.8.1.</b> Les types d'amortisseurs .....	24
<b>II.9.</b> Les pneus.....	24
<b>II.10.</b> Conclusion.....	24

### ***Chapitre III : Présentation de l'Avion Bombardier DASH-8 Q400***

<b>III.1.</b> Introduction :.....	25
<b>III.1.1.</b> Caractéristiques techniques.....	26
<b>III.2.</b> Le Noise and Vibration Suppression (NVS).....	27
<b>III.3.</b> Système Atterrissage de l'Avion DASH8 Q-400.....	27
<b>III.3.1.</b> Généralité.....	27
<b>III.3.2.</b> LA structure de train d'Atterrissage de la Q-400.....	28
<b>III.4.</b> Généralités sur le système hydraulique .....	33
<b>III.4.1.</b> Généralités .....	33
<b>III.4.2.</b> Le système n ° 1 alimente .....	34
<b>III.4.3.</b> Le système n ° 2 alimente .....	35
<b>III.4.4.</b> Le système n ° 3 fournit une alimentation de secours pour .....	35
<b>III.4.5.</b> Le système hydraulique d'urgence alimente .....	36

III.4.6. Schéma des éléments commandés par Hydraulique .....	37
III.5. Système du freinage principal .....	37
III.5.1. Principe de fonctionnement .....	37
III.5.2. Commande au freinage .....	39
III.5.3. System frein à main (parking brake).....	10
III.5.4. System anti-dérapant (Anti-Skid system) .....	41
III.6. Le system de Guidage (Steering system ).....	42
III.7. Capteurs et Instrumentation.....	43
III.7.1. La liste des capteurs au système d'atterrissage.....	43
III.8. Conclusion.....	44

### *Chapitre IV : Diagnostique et surveillance des systèmes fonctionnels*

IV.1. Introduction.....	45
VI.2. Classification des méthodes de surveillance.....	47
VI.2.1. Méthodes de classification Avec Model .....	48
VI.2.2. Méthodes diagnostic à partir de modélisation physique .....	48
VI.2.2.1 Technique redondance physique et Analytique .....	49
VI.2.3. Méthodes sans modèle.....	50
VI.2.3.1. Méthode de L'intelligence artificielle .....	51
VI.2.3.2. Surveillance par outils statiques du Traitement du Signal.....	52
VI.2.4.1. Les modèles quantitatives.....	53
VI.2.4.2. Les modèles qualitatives.....	54
VI.2.4.3 Les modèles qualitatives et quantitatives.....	54
IV.3. Conclusion.....	55

### *Chapitre V : La Simulation et la Supervision de système D'atterrissage du l'Avion Q-400*

V.1. Introduction .....	56
V.2. Modélisation et simulation du Système.....	56
V.2.1 .Les système freinage.....	56
V.2.2. Model simulink du sous-système d'atterrissage .....	59
V.2.2.1.Schéma Block du freinage.....	59
V.2.2.2. Simulation du block Hydraulique.....	61

<b>V.2.2.3</b> Simulation de l'anti dérapant (anti Skid) .....	62
<b>V.3.</b> Diagnostic et supervision du ce système .....	64
<b>V.3.1.</b> Modèle simulink des Blocks de diagnostique par redondance Physique.....	64
<b>V.3.2.</b> Block simulink des la diagnostique analytique dynamique .....	66
<b>V.4.</b> Résultats et commentaire.....	67
<b>V.4.1.</b> Les paramètre de la simulation.....	67
<b>V.4.3.</b> Résultats du freinage avec ABS.....	70
<b>V.4.3.</b> Résultats du freinage avec anti-derapant .....	72
<b>V.4.4.</b> Les Résultats du diagnostic et la supervision.....	73
<b>V.5.</b> Conclusion.....	76
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>78</b>

# TABLE DES FIGURES

---

<b>Fig. I.1</b>	Tassili Airlines.....	6
<b>Fig. I.2</b>	L'Avion Boeing 737-800 et ses caractéristiques.....	7
<b>Fig. I.3</b>	L'Avion Bombardier Q-400 et ses caractéristiques.....	7
<b>Fig. I.4</b>	L'Avion Bombardier Q-200 et ses caractéristiques.....	7
<b>Fig. I.5</b>	Tassili Travail Aérien.....	8
<b>Fig. I.6</b>	L'Avion Beech Craft 1900D.....	9
<b>Fig. I.7</b>	L'Avion Cessna 208 B.....	9
<b>Fig. I.8</b>	L'Avion Bell-206 LR.....	9
<b>Fig. I.9</b>	Organigramme Général de « Tassili Airlines ».....	10
<b>Fig. I.10</b>	Organigramme de la direction technique.....	11
<b>Fig. I.11</b>	Organigramme de la sous-direction des ateliers.....	12
<b>Fig. II.1</b>	Le train D'atterrissage.....	15
<b>Fig. II.2</b>	Le train principal d'une Avion.....	16
<b>Fig. II.3</b>	Diabolo.....	16
<b>Fig. II.4</b>	Le train classique.....	17
<b>Fig. II.5</b>	Train Tricycle.....	17
<b>Fig. II.6</b>	Le train fixe.....	18
<b>Fig. II.7</b>	Le train rentrant.....	18
<b>Fig. II.8</b>	Le dispositif de relevage.....	19
<b>Fig. II.9</b>	Le système de verrouillage du train.....	19
<b>Fig. II.10</b>	Schéma de système de freinage.....	20
<b>Fig. II.11</b>	Les freins à mâchoires.....	21

<b>Fig. II.12</b> Les freins à disques.....	21
<b>Fig. II.13</b> structure de train d'atterrissage.....	23
<b>Fig. II.14</b> pneu en état défaillant (usure).....	24
<b>Fig. II.15</b> chambre à air pliée.....	24
<b>Fig.III.1</b> structure de train principal de Q-400.....	27
<b>Fig.III.2</b> structure train de nez de Q-400.....	28
<b>Fig.III.3</b> Train ouvert.....	29
<b>Fig.III.4</b> Train fermé.....	29
<b>Fig.III.5</b> système verrouillage de Train d'atterrissage.....	30
<b>Fig.III.6</b> LDG GEAR INOP instrumentation.....	31
<b>Fig.III.7</b> commande hydraulique manuel du train.....	32
<b>Fig.III.8</b> schéma commande manuel de train d'atterrissage.....	32
<b>Fig.III.9</b> Schéma distribution Hydraulique de l'avion.....	33
<b>Fig.III.10</b> Système n ° 1 Alimente.....	34
<b>Fig.III.11</b> Le système n ° 2 alimente.....	35
<b>Fig.III.12</b> système n ° 3 fournit une alimentation de secours.....	36
<b>Fig.III.13</b> système hydraulique d'urgence alimente.....	36
<b>Fig.III.14</b> Les éléments commandés par Hydraulique.....	37
<b>Fig.III.15</b> Schéma structure de système freinage de l'avion Q-400.....	38
<b>Fig.III.16</b> Schéma de commande au freinage.....	39
<b>Fig.III.17</b> Schéma de frein de stationnement.....	40
<b>Fig.III.18</b> Schéma présente structure de l'antidérapant.....	41
<b>Fig.III.19</b> Structure de système de direction de l'avion Q-400.....	42
<b>Fig.III.20</b> l'unité électronique de l'interrupteur de proximité (PSEU).....	43

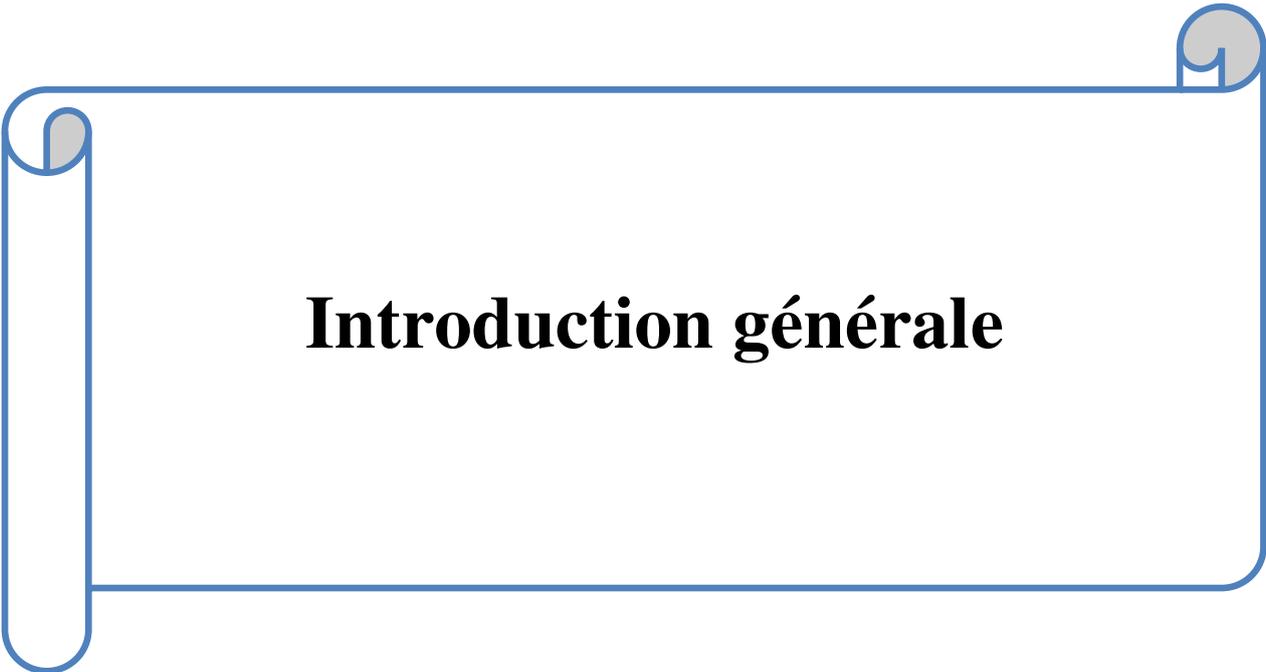
<b>Fig .IV.1</b>	Architecture général d'un système de supervision.....	47
<b>Fig .IV.2</b>	Classification des méthodes de surveillance.....	48
<b>Fig .IV.3</b>	redondance double matériel (double capteur).....	49
<b>Fig .IV.4</b>	Redondance triple matérielle (triple capteur).....	50
<b>Fig .IV.5</b>	Principe de diagnostic par la génération des résidus.....	53
<b>Fig .IV.6</b>	Classification méthodes méthodes quantitatives/qualitatives.....	54
<b>Fig .V.1</b>	paramètres du freinage.....	56
<b>Fig .V.2</b>	Schéma block du Freinage.....	59
<b>Fig .V.3</b>	Sous-programme Simulink de taux de glissement.....	59
<b>Fig .V.4</b>	Sous-programme Simulink de coefficient de frottement.....	60
<b>Fig .V.5</b>	Modélisation du système freinage Classique.....	60
<b>Fig .V.6</b>	block simscape du circuit hydraulique.....	61
<b>Fig .V.7</b>	block simulink d'électrovanne.....	62
<b>Fig .V.8</b>	block simulink de anti-dérapant.....	62
<b>Fig .V.9</b>	programme anti dérapant.....	63
<b>Fig .V.10</b>	block simulink de l'ABS.....	63
<b>Fig .V.11</b>	programme ABS.....	63
<b>Fig .V.12</b>	résidu indicateur les défauts au borne de la pompe.....	64
<b>Fig .V.13</b>	résidu indicateur les défauts au borne d'électrovanne.....	64
<b>Fig .V.14</b>	résidu indicateur les défauts de la vitesse angulaire de la roue.....	65
<b>Fig .V.15</b>	résidu indicateur les défauts de la vitesse linéaire du l'avion.....	65
<b>Fig .V.16</b>	Le résidu de block de diagnostique Analytique.....	66
<b>Fig .V.17</b>	Vitesse angulaire de la roue.....	67
<b>Fig .V.18</b>	Vitesse linéaire du l'Avion.....	68
<b>Fig .V.19</b>	Distance du freinage du l'Avion.....	68
<b>Fig .V.20</b>	Le taux de glissement de la roue.....	69

<b>Fig. V.21</b> Vitesse angulaire de la roue.....	69
<b>Fig. V.22</b> Vitesse linéaire du l'Avion.....	70
<b>Fig. V.23</b> Distance du Freinage avec ABS.....	70
<b>Fig.V.24</b> taux de glissement avec (ABS).....	71
<b>Fig.V.25</b> Le freinage de la roue (2).....	72
<b>Fig.V.26</b> Le freinage de la roue (3).....	72
<b>Fig.V.27</b> résidu généré Redondance physique à double capteur (sans défaut)...	73
<b>Fig.V.28</b> résidu généré Redondance physique à double capteur (Avec défaut ...)	74
<b>Fig.V.29</b> résidu généré par redondance analytique dans un cas normal.....	75
<b>Fig.V.30</b> résidu généré par redondance analytique au cas de défaillance.....	75

## LISTE DES TABLEAUX

---

<b>Tableau III. 1:</b> Caractéristiques de l'avion Q400.....	26
<b>Tableau V.2:</b> Les coefficients du frottement en fonction de l'état de la route.....	58



# **Introduction générale**

## *Introduction générale*

---

On a étudié dans ce mémoire de master le diagnostic et la supervision sur le système d'atterrissage de l'Avion "Bombardier DASH\_8 Q-400" , telle que on va modéliser ce système puis le simuler avec le logiciel " MATLAB" .

On commence par la modélisation de frein classique de cet Avion, et son système hydraulique qui Alimente le freinage, après on améliore ce freinage appliquant les deux sous-système " ABS " et " ESP " , bien sûr avec l'indication des résultats à chaque cas de simulation ainsi que les comparaisons entre eux .

Finalement on a choisi deux méthodes principales pour le diagnostic de notre système à base de son modèle Simulink, qui sont :

- **a)** La Redondance Analytique (espace de parité ) : c'est une méthode quantitative basée sur le modèle mathématique de système étudié , pour la génération des résidus qui sont les indicateurs des défauts.
- **b)** La Redondance physique (double ou triple matériels): qui consiste a doublé ou triplé les capteurs dans le système de fonctionnement au but d'isoler et classifier les pannes, aussi pour augmenter le niveau de sécurité et minimiser les risques.

Notre mémoire est constituée de cinq chapitres dans lesquelles on a illustré le fonctionnement de système d'atterrissage de cet Avion ainsi que les étapes de la supervision et les résultats de simulation, voilà le contenu de chaque chapitre de cette mémoire:

- Chapitre I : c'est pour la présentation de l'entreprise ou on a passé notre stage pratique, donnant tous les directions de cette entreprise, ses services, ses flots et ses destinations de voyage.
- Chapitre II: on a parlé en général sur le train d'atterrissage des avions, et les types des trains, caractéristiques, et les éléments.
- Chapitre III : Dans ce chapitre on a étudié les spécifications de l'avion Bombardier DASH\_8 Q400 ,et tout ce que propose de sa dimension , sa puissance et sa technologie .Puis sur les sous-systèmes d'atterrissage de cet avion , Hydraulique ,freinage et l'ensemble des capteurs .
- Chapitre IV : Ce chapitre pour les définitions et les organisations de la maintenance industriel et les classifications des méthodes de diagnostic et surveillance des systèmes.
- Chapitre V : c'est le chapitre ou on a fait notre application, telle qu'on a modélisé et simulé notre système de fonctionnement, après interprétation des résultats obtenus.



**CHAPITRE I**

**Présentation de la compagnie de  
Tassili Airlines**

### **I.1 Introduction:**

Tassili Airlines a été créée en Mars 1998. La compagnie concentre l'essentiel de ses activités au profit du secteur pétrolier en opérant des Charters et Navettes aussi bien en Domestique qu'en International.

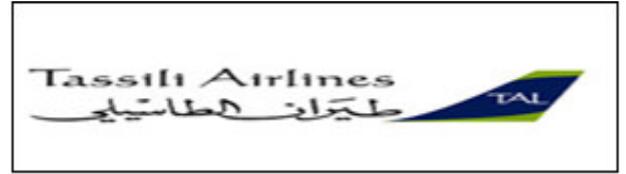


Figure I.1 Tassili Airlines

Les activités principales de Tassili Airlines sont les vols Charters pour la société pétrolière Sonatrach et ses filiales, les compagnies pétrolières internationales et le travail aérien à travers sa filiale « Tassili Travail Aérien ».

Plus récemment, Tassili Airlines a étendu son réseau au service du grand public pour des vols charters internationaux et le transport régulier national et international.

### **I.2 Historique :**

- Tassili Airlines est créée le 4 mars 1998 et effectue ses premiers vols en avril 1999.
- Tassili Airlines est initialement une coentreprise entre la aérienne Air Algérie et la compagnie pétrolière Sonatrach. En 2005, elle devient une filiale à 100 % de Sonatrach après le rachat des actions que détenait 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 d'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. En octobre 2010 une convention est signée avec le ministère de la santé algérien pour la fourniture 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...).
- Le 4 octobre 2011, la compagnie aérienne réceptionne son quatrième Boeing 737-800 et procède à l'inauguration de sa première agence commerciale, à l'aéroport d'Alger .
- Depuis fin novembre 2011, la compagnie aérienne a obtenu le label international de qualité IOSA, délivré par l'Association internationale du transport aérien (IATA).

### **I.3 flotte :**

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 12 aéronefs dont la capacité va de 37 à 155 sièges.

- **Boeing 737-800 :**



#### **Boeing 737 - 800**

- Twin-set Plane
- Capacité : 155 sièges
- Rayon d'action: 5000 km
- Vitesse de croisière: 900 km/h

**figure.I.2:** L'Avion Boeing 737-800 et ses caractéristiques

- **Bombardier Q400**



#### **Bombardier Q400**

- Avion bi turbopropulseurs
- Capacité 74 sièges
- Rayon d'action 2415 Km
- Vitesse de croisière 667 Km/h

**figure.I.3:** L'Avion Bombardier Q-400 et ses caractéristiques

- **Bombardier Q200 :**



#### **Bombardier Q200**

- Avion bi turbopropulseurs
- Capacité 37 sièges
- Rayon d'action 1802 Km
- Vitesse de croisière 537 Km/h

**figure.I.4:** L'Avion Bombardier Q-200 et ses caractéristiques

### **I.4. FILIALES :**

#### **I.4.1 La TTA (Tassili Travail Aérien) :**

Tassili Travail Aérien Spa est Une filiale à part entière de Tassili Airlines, relevant du groupe Sonatrach spécialisée dans le travail aérien tel que défini par la réglementation de l'aviation civile nationale. Dispose d'un effectif de 154 employés ; d'une flotte de 19 aéronefs dont 07 hélicoptères.



#### **I.4.2 Segments de marché de TTA Spa :**

##### **A- HYDROCARBURES**

- transport de la petite relève du personnel du secteur des hydrocarbures ;
- transport de délégations du secteur des hydrocarbures (TAXI et VIP) ;
- EVASAN (Evacuation sanitaires) ;
- la surveillance héliportée des installations industrielles ;
- lavage des isolateurs des lignes électriques HT et THT, la thermographie et les inspections visuelles ;
- de l'offshore héliporté.

##### **B- AGRICOLE**

- traitement phytosanitaire par voie aérienne ;
- la lutte contre les feux de forêts.

##### **C- AUTRES**

Transport de passagers version TAXI et VIP ;

EVASAN (Evacuation sanitaires) ;

Des levés topographiques et modélisation en 3D héliportés par satellite «laser» ;

Du service de prises de vue aériennes, documentaires, publicités, film,.....

L'objectif de notre filiale « Tassili Travail Aérien » Spa, à moyen terme, est de se positionner leader du marché du travail aérien en Algérie.

### I.4.3 Flotte TTA :

La flotte de TTA se compose de 13 aéronefs dont 06 hélicoptères.

- **Beechcraft 1900D**



#### ***Beechcraft 1900D***

Avion bi turbopropulseurs  
Capacité 18 sièges  
Rayon d'action 2000 Km  
Vitesse de croisière 480 Km/h

**figure.I.6:** L'Avion Beech Craft 1900D

- **Cessna 208 B**



#### ***Cessna 208 B***

Avion monomoteur turbopropulseur  
Capacité 9 passagers  
Autonomie 5h00  
Vitesse de croisière 280 Km/h  
Version caravan : 2 civières et 2  
accompagnateurs  
Vol de jour seulement.

**figure.I.7:** L'Avion Cessna 208 B

- **Bell 206 LR**

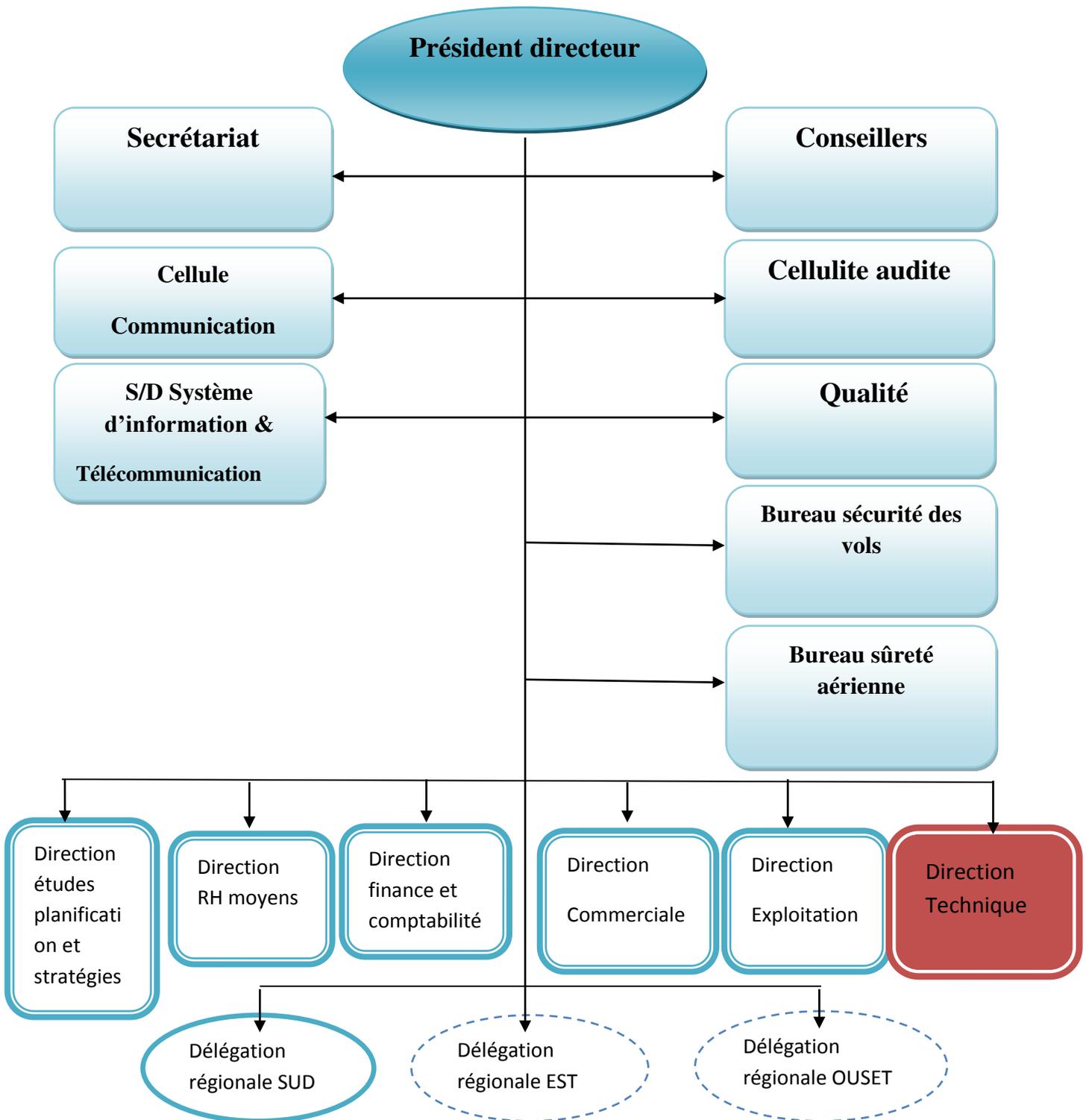


#### ***Bell 206 LR***

Hélicoptère mono turbine Bell 206 Long  
Ranger  
Capacité 5 passagers  
Autonomie 3h00  
Vitesse de croisière 200 Km/h  
Version Evasant : 1 civière et 1  
accompagnateur

**figure.I.8:** L'Avion Bell-206 LR

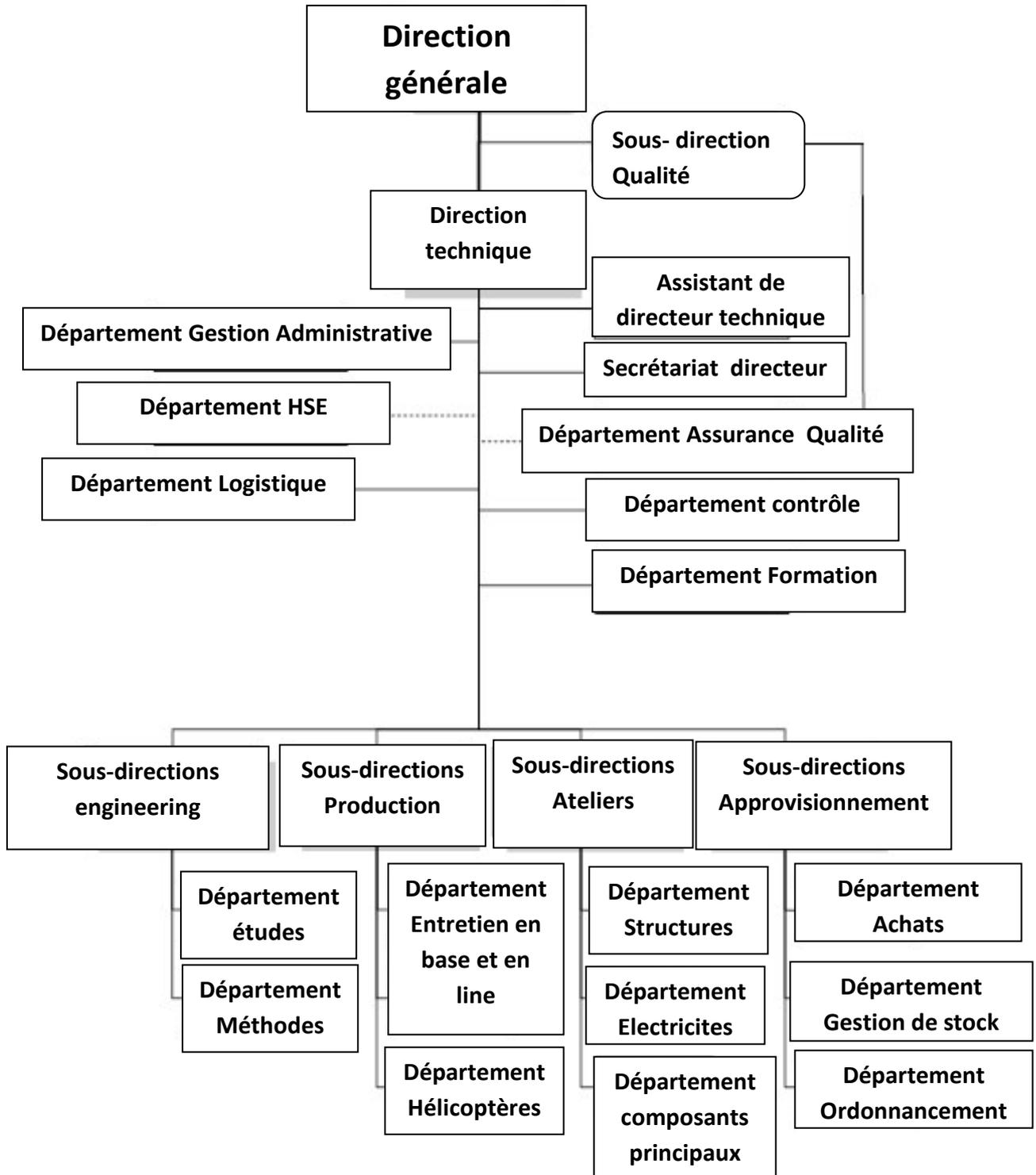
**I.5. Organigramme Général de « TASSILI AIRLINES » :**



**Figure I.9:** Organigramme Général de « Tassili Airlines»

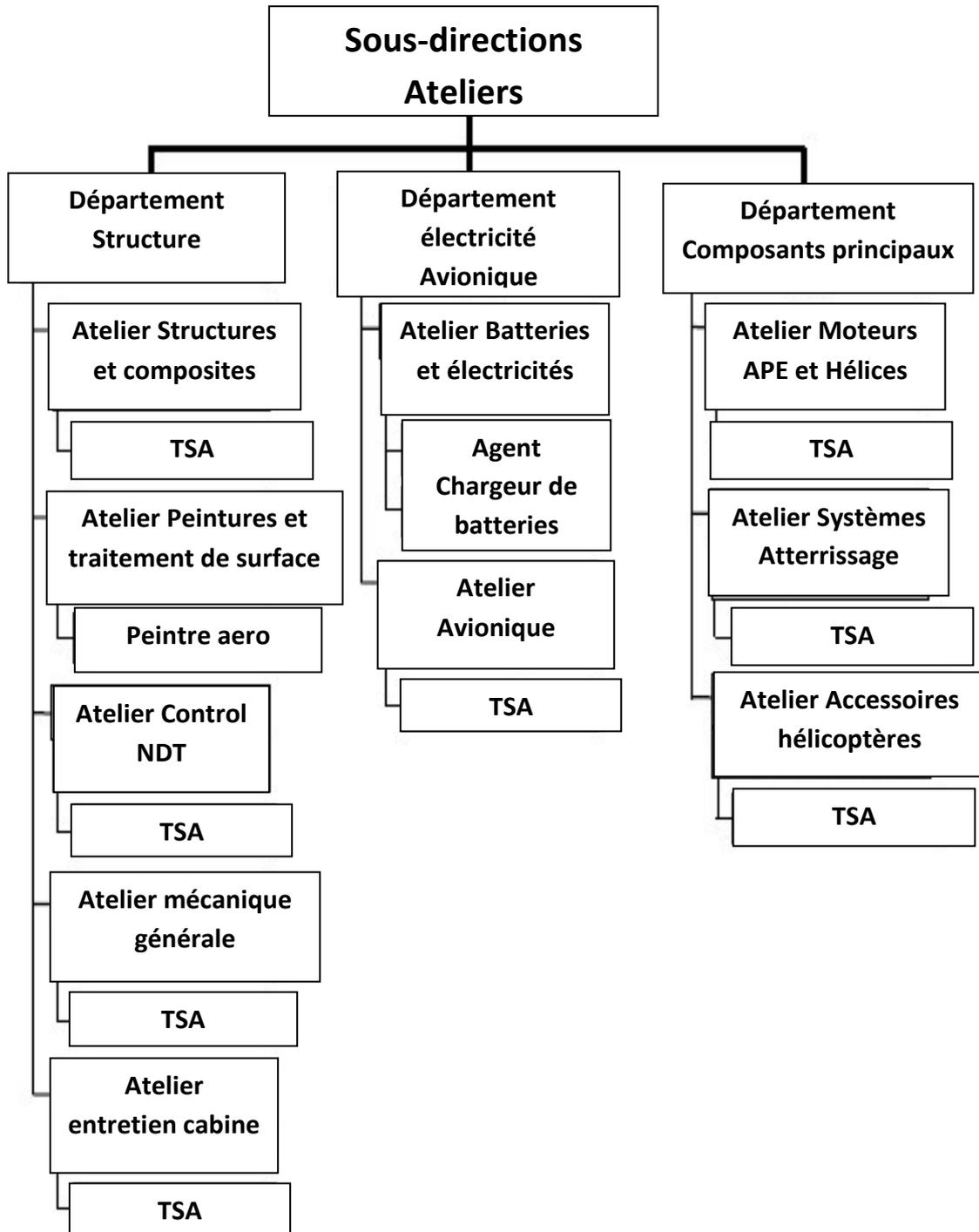
**I.6. Présentation du service :**

**I.6.1 Organigramme de la direction technique :**



**Figure I.10:** Organigramme de la direction technique

**I.6.2 Organigramme de la sous-direction des ateliers :**



**Figure I.11:** Organigramme de la sous-direction des ateliers

### **I.6.3 Département composants principaux :**

Il assure la remise en état et les révisions générales des accessoires déposées d'aéronefs de toute la flotte de la compagnie Tassili Airlines. Ce ci selon des procédures approuvées par le constructeur.

### **I.7. Destinations:**

La compagnie Tassili Airlines dessert les principaux aéroports algériens, notamment ceux proches des zones pétrolifères ou de gisements de gaz naturel du Sahara algérien tels que les aéroports de Hassi Messaoud, de Hassi R'Mel. En juillet 2013, elle ouvre ses premières destinations des vols réguliers nationale et l'international au grand public :

-  Algérie
  - Adrar- Aéroport d'Adrar - Touat - Cheikh Sidi Mohamed Belkebir
  - Alger - Aéroport d'Alger - Houari Boumédiène (**Base**)
  - Annaba- Aéroport d'Annaba - Rabah Bitat
  - Batna - Aéroport de Batna - Mostepha Ben Boulaid
  - Béjaïa - Aéroport de Béjaïa - Soummam - AbaneRamdane
  - Béchar- Aéroport de Béchar - Boudghene Ben Ali Lotfi
  - Constantine- Aéroport de Constantine - Mohamed Boudiaf
  - Djanet- Aéroport de Djanet - Tiska
  - El Oued- Aéroport d'El Oued - Guemar
  - Ghardaïa- Aéroport de Ghardaïa - Noumérat - Moufdi Zakaria
  - Hassi Messaoud- Aéroport d'Hassi Messaoud - Oued Irara - KrimBelkacem (**Base**)
  - HassiR'Mel- Aéroport d'HassiR'Mel - Tilrhemt
  - Illizi- Aéroport d'Illizi - Takhamalt
  - In Aménas- Aéroport de Zarzaitine - In Amenas
  - Oran- Aéroport d'Oran - Ahmed Ben Bella
  - Sétif- Aéroport de Sétif - 08 mai 1945

## ***CHAPITRE I : Présentation de la compagnie de Tassili Airlines***

---

- Tamanrasset- Aéroport de Tamanrasset - Aguenar - Hadj Bey Akhamok
- Tindouf- Aéroport de Tindouf
- Tlemcen- Aéroport de Tlemcen - Zenata - Messali El Hadj
- El-Bayadh
-  France
  - Lyon- Aéroport de Lyon-Saint-Exupéry
  - Marseille- Aéroport de Marseille Provence
  - Nantes- Aéroport de Nantes Atlantique
  - Paris- Aéroport Charles de Gaulle
  - Strasbourg- Aéroport de Strasbourg-Entzheim. [1]

### **I.8. Conclusion:**

Tassili Airlines est une entreprise aérien national qui serve tous les filiales de SONATRACH , ainsi que les citoyens vers les destinations national et international.

Tassili Airlines a plusieurs filiales comme la "TTA" et plusieurs directions , parmi les , direction Technique et direction commercial.

La direction Technique ou on passe notre stage pratique , est divisée en deux grandes ateliers :

- Atelier de système de train d'atterrissage concernant la maintenance des tous les systèmes d'atterrissage comme le système freinage, le système hydraulique et le système électrique concernant les capteurs...
- Atelier des engins ou il ya la maintenance des moteur des avions , les turbos compresseurs, les pales ...



**CHAPITRE II**  
**Le Train D'Atterrissage**

### II.1. Introduction :

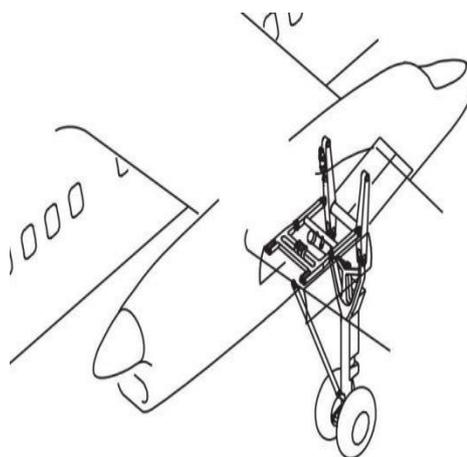
Le train d'atterrissage supporte l'avion au sol et lui permet de rouler au décollage et à l'atterrissage ; Le train d'atterrissage est donc le système de roues qui permet à l'avion de se mouvoir au sol.

Le train d'atterrissage comprend des amortisseurs chargés d'absorber les vibrations au roulage et l'énergie du contact avec le sol.

Les fonctions principales d'un train d'atterrissage consistent à permettre les évolutions au sol d'un aéronef .ces évolutions comprennent les manœuvres de roulage entre différents emplacements d'un aéroport (remorquage, taxi...) la course de décollage, l'amortissement de l'impact d'atterrissage, et grâce à un système de freinage associé, l'arrêt de l'aéronef sur une distance acceptable.

Le train d'atterrissage est généralement de type fixe ou rétractable .s'il ne rétracte pas pendant les phases de vol pour diminuer sa résistance aérodynamique et ainsi diminuer la traînée qui affecte l'avion .Il est alors replié dans le logement de train d'atterrissage, qui peut se trouver dans le fuselage ou dans les ailes, si l'aéronef est un avion.

Le train d'atterrissage peut parfois être équipé de skis ou de flotteurs si l'appareil doit amerrir ou atterrir sur la neige. Certains appareils sont également équipés de patins métalliques, qui ralentissent l'aéronef par friction avec le revêtement de la piste. [2]



**Figure II.1 :** Le train D'atterrissage

### II.2 La constitution du train d'atterrissage :

Le train d'atterrissage est prévu et calculée pour une vitesse maximale à l'atterrissage de 14040 ft/min, soit environ 78 m/s ou bien 280 km/h .

En principe, il est composé de deux parties :

#### II. 2.1. Le train principal :

Il est constitué par les roues principales qui se trouvent bien souvent sous les ailes à gauche et à droite. Les roues du train principal sont maintenues solidaires de freins à disques ou à tambour sur les avions les plus anciens.



Figure II.2 : Le train principal d'une Avion

#### II.2.2. Le train secondaire :

Il est constitué par la roulette de **queue** ou la roulette de **nez**.

#### II.2.3. Les particularités :

Sur les gros avions, le train peut posséder deux roues parallèles réunies par un **diabolo** ou deux roues jumelées l'une derrière l'autre en tandem ou **boggie**.

Ainsi quand la jambe du train passe entre les deux roues, le jumelage s'appelle un **diabolo** et quand le train principal possède deux roues ou deux jumelages l'un derrière l'autre, il s'agit alors d'un train en tandem ou **boggie**.



Figure II.3: Diabolo

### II.3. Les différentes sortes de train d'atterrissage :

#### II.3.1. Le train d'atterrissage classique :

Le train d'atterrissage classique comporte un bâti monté par l'intermédiaire d'un dispositif amortisseur sur deux roues indépendantes à pneumatiques.

Ces deux roues principales sont montées en avant du centre de gravité de l'avion.

A l'arrière, l'avion repose sur une seule petite roue orientale, la roulette de queue, ou parfois sur une béquille.

Sur ce type de train d'atterrissage, l'avion n'a pas son fuselage horizontal mais incliné à l'arrière en direction du sol.



**Figure II.4:** Le train classique

#### II.3.2. Le train d'atterrissage tricycle :

Le train d'atterrissage tricycle comporte trois roues dont l'une, la roulette de nez, est située à l'avant du fuselage et les deux autres, train principal, un peu en arrière du centre de gravité de l'avion. La roue avant est en général commandée par le palonnier.

A noter qu'en dépit de son poids plus élevé, le train d'atterrissage tricycle est largement plus utilisé en raison de ses avantages. En effet, il facilite les manœuvres au sol, le décollage et l'atterrissage. Il donne de plus une meilleure visibilité.



**Figure II.05:** Train Tricycle

### II.4. Les différents types de train d'atterrissage :

#### II.4.1. Le train d'atterrissage fixe :



**Figure II.06:** Le train fixe

Ce train d'atterrissage reste en permanence à l'extérieur notamment en vol.

Toute fois, pour être plus aérodynamique, les roues et les jambes de train sont souvent habillées d'une enveloppe fuselage appelée **carénage**. Les roues et les jambes sont alors carénées afin d'améliorer le rendement aérodynamique.

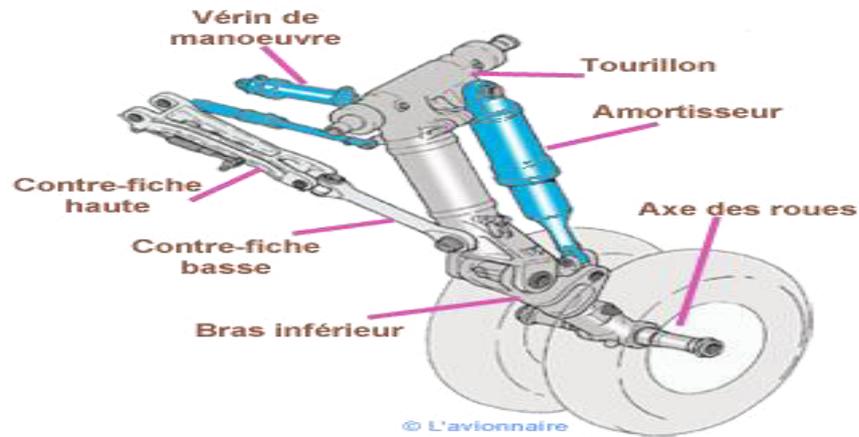
#### II.4.2. Le train d'atterrissage escamotable ou rentrant :



**Figure II.07:** Le train rentrant

Afin d'éliminer en vol, la résistance aérodynamique nuisible du train d'atterrissage, celui-ci peut être escamotable. En effet, le train rentrant offre le gros avantage de n'offrir aucune résistance à l'avancement lorsqu'il est relevé. En outre, il permet de faire gagné quelques kilomètres à l'heure de vitesse. Par contre, il nécessite un entretien très sérieux du système de rétractation.

### a- Le dispositif de relevage

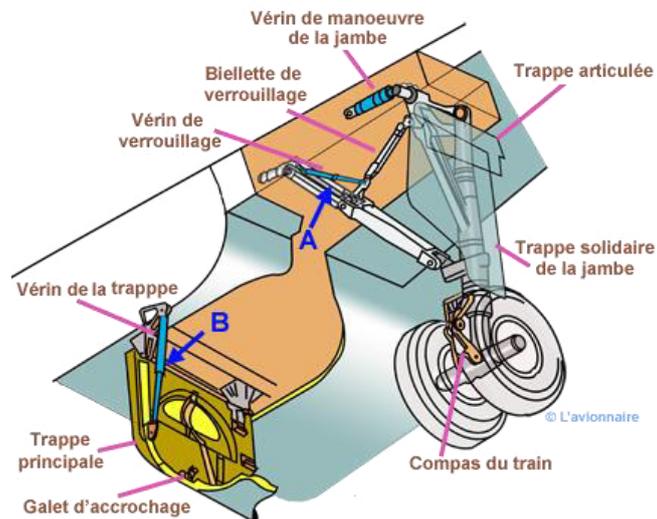


**Figure II.8:** Le dispositif de relevage

Le train d'atterrissage est relevé et abaissé généralement par un vérin hydraulique.

La pression d'huile est fournie par un compresseur actionné soit par les moteurs de l'avion ou soit par un petit moteur électrique.

### b- Le système de verrouillage :



**Figure II.9:** Le système de verrouillage du train

Lorsque le train d'atterrissage est complètement rentré ou complètement sorti, il est verrouillé mécaniquement.

Les systèmes adoptés sont nombreux. En effet, on peut utiliser l'action de pènes, d'ergots, de griffes. En outre, il peut exister aussi un dispositif mécanique qui interdit le relevage lorsque l'avion est au sol.

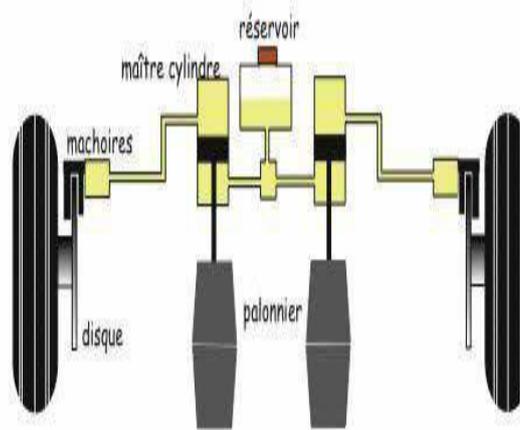
### c- La sortie de secours du train rentrant :

En cas de panne du système de sortie du train d'atterrissage, il est prévu un dispositif de secours, pour descendre celui-ci uniquement.

La procédure est alors décrite dans le manuel de vol de l'avion. Cette procédure est relative aux vérifications à effectuer au préalable, à la vitesse recommandée à adopter, à la manœuvre proprement dite.

En général, la sortie de secours se fait en tournant une manivelle pour les atterrisseurs à moteur électrique. Quand la commande se fait par vérins hydrauliques, on doit pomper à l'aide d'un levier.

### II.5. Les freins de train d'atterrissage :



**Figure II.10:** Schéma de système de freinage

Le train d'atterrissage est équipé maintenant de freins en raison de l'apparition de la roulette de queue ou de nez, notamment pour l'usage des pistes actuelles encore en herbe ou en dur.

Le freinage est d'autant plus efficace que l'avion va lentement et qu'il pèse lourd. Sur certains avions, un dispositif anti-patinage (anti-skid) supprime le freinage au moment où les roues vont se bloquer car une roue bloquée donne un freinage nul.

Ainsi, les avions modernes et bien conçus ont des freins hydrauliques et à disques. Les pannes de frein sont rares mais il faut néanmoins les contrôler régulièrement en atelier et les inspecter avant les vols.

Les canalisations ne doivent pas fuir et être bien serrées. Elles sont le plus souvent maintenues en place contre les parties principales du train par des colliers qui doivent être aussi en bon état. De plus, il est nécessaire de compléter le niveau de liquide des freins chaque fois que celui-ci baisse.

Enfin, les surfaces des disques et l'usure des plaquettes doivent faire l'objet d'une inspection attentive.

### II.5.1. Les différents types de freins :

Les freins sont généralement de deux types :

#### a- Les freins à mâchoires :

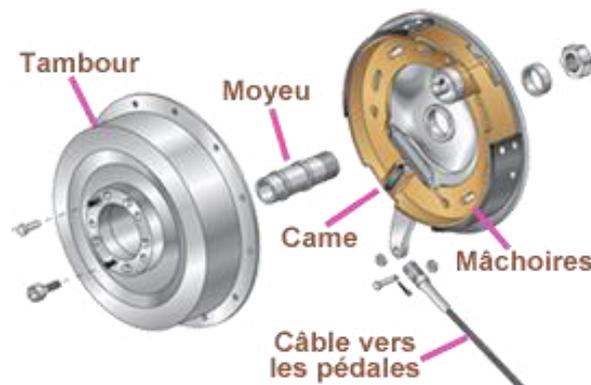


Figure II.11: Les freins à mâchoires

Ces freins sont formés par des mâchoires munies de garnitures à coefficient de frottement élevé et commandées hydrauliquement. Ces mâchoires s'écartent et viennent alors s'appuyer sur l'intérieur d'un tambour solidaire de la jante.

#### b- Les freins à disques :

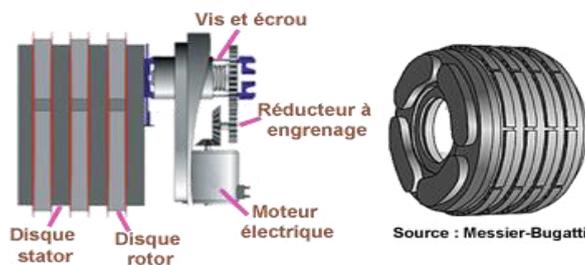


Figure II.12: Les freins à disques

Les freins à disques sont les plus employés. En effet, sous la pression d'un liquide hydraulique, plusieurs disques mobiles solidaires de la roue peuvent frotter sur des disques fixes intercalés.

### **II.6. Les efforts du train d'atterrissage :**

Un train d'atterrissage est soumis à diverses forces :

#### **II.6.1. Les forces massiques :**

Les forces massiques résultent du poids de l'avion et de la force d'inertie de l'avion.

#### **II.6.2. Les forces de liaison :**

Les forces de liaison résultent de la liaison aux attaches sur les autres éléments de l'avion.

#### **II.6.3. Les forces de contact :**

Les forces de contact résultent du contact du sol sur les pneumatiques.

En effet, au moment de l'atterrissage à l'impact, l'avion possède une vitesse verticale de descente.

Les règlements officiels fixent une valeur maximale de cette vitesse pour les divers calculs. Cette vitesse est actuellement de 3 m/s à laquelle correspond une énergie cinétique ( $e$ ) que devront absorber au maximum les amortisseurs et les pneumatiques. Ainsi, qu'il y aura donc une limite du poids de l'avion à l'atterrissage.

En outre, il faut tenir compte d'une part d'un dérapage éventuel et d'autre part du cas où l'avion légèrement incliné touche le sol d'abord sur une seule jambe.

### **II.7. La structure du train d'atterrissage :**

Il existe deux technologies pour le train d'atterrissage, De la plus simple à la plus sophistiquée.

- Les petits avions légers étant faciles à poser et leur rebond rarement catastrophiques, les constructeurs se sont souvent contentés de faire absorber le choc à l'atterrissage par un élément élastique, non amorti. Quand ils introduisent un amortisseur oléopneumatique, c'est en général au détriment de la masse de l'appareil, Ainsi, sur les avions de faible tonnage à vitesse peut élevée, on rencontre encore des trains fixes.

- Les avions à aile haute ou médiane ont généralement un train "trièdres" (trois jambes convergent à l'essieu dont un portant l'amortisseur), certains ont une simple lame d'acier qui joue également le rôle d'amortisseur.

- Avec des jambes de train rudimentaires, il y a peu d'amortissement en cas d'atterrissage dur sinon celui dû au ripage latéral des roues. Dans cette situation, l'énergie en cas d'impact fort sera peu dissipée et aura alors tendance à faire rebondir l'avion.
- Les avions à aile basse ont souvent un train "monojambe" fixé au longeron avant de l'aile et portant l'amortisseur.
- Dans ce cas, la jambe de train du SOCATA TB 10 est pourvue d'un tirant articulé sollicitant l'élément de suspension qui est constitué d'un bloc oléopneumatique combinant la fonction ressort et la fonction absorption du choc de l'atterrissage. Il assure aussi le confort du roulage.



**Figure II.13:** structure de train d'atterrissage

### II.8. Les amortisseurs du train d'atterrissage :

En général, le train d'atterrissage est équipé d'amortisseurs pour absorber l'énergie lors de l'impact avec le sol et pour éviter, le cas échéant, la rupture d'une jambe de train d'atterrissage ou de la cellule. Au contact, puis au roulage, il absorbe les vibrations pour le confort des passagers.

#### II.8.1. Les types d'amortisseurs :

Le train d'atterrissage possède des amortisseurs qui peuvent être :

- **Hydrauliques** : C'est le cas général.
- **A lames de ressort** : Sur certains avions légers.
- **En boudins de caoutchouc** : Sur certains avions légers.
- **En sandows** : Câbles en caoutchouc sur les avions légers.

### II.9. Les pneus :

Les pneus sont sensibles à l'action de l'essence et de l'huile. Il faut donc veiller à ce qu'ils ne restent pas sur une flaque d'huile et rincer toute partie sur laquelle de l'essence a coulé, notamment lors de la purge des réservoirs d'essence.

## Chapitre II : Le Train D'Atterrissage

---

Des pneus insuffisamment gonflés peuvent affecter notablement les performances de l'avion au sol lors des phases de décollage et d'atterrissage.

En outre, la pression maximale pour la pneumatique basse pression doit être inférieure à 3 kg/cm<sup>2</sup> ou 3 bars et pour la pneumatique haute pression supérieure à 5 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figure II.14:** pneu en état défaillant (usure)

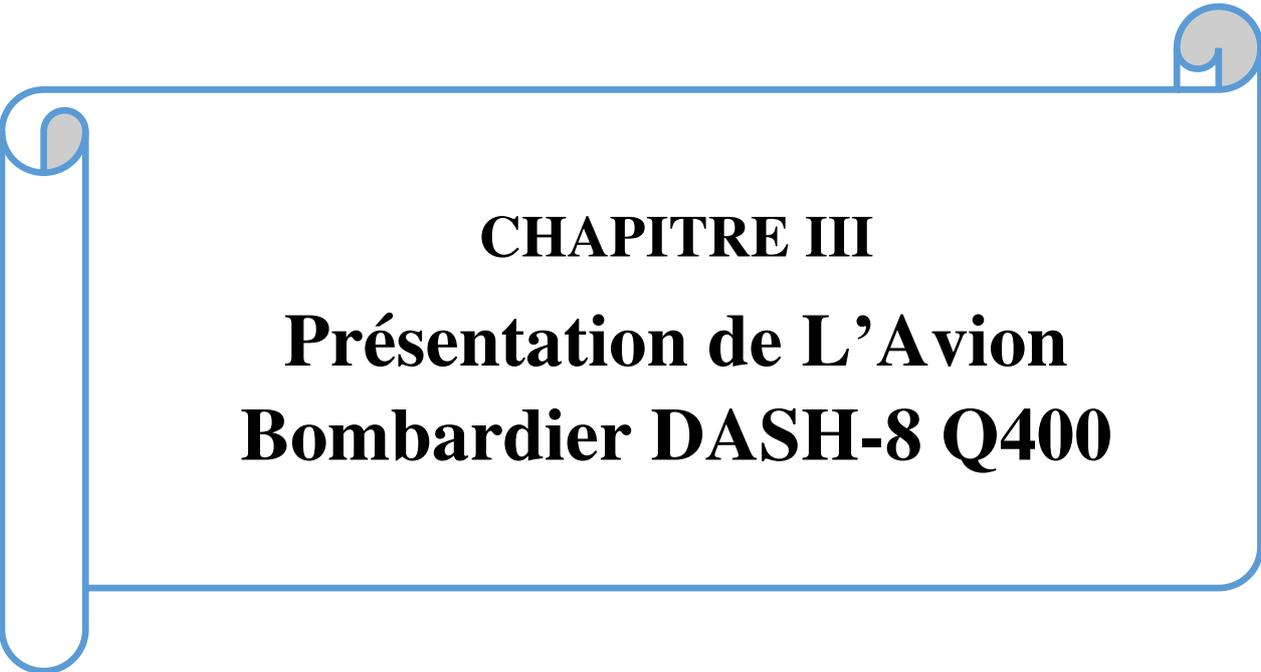
L'usure d'un pneu dû à un arrachement de bande ou une chambre à air pliée, peut provoquer une catastrophe. [3]



**Figure II.15:** chambre à air pliée

### II.10. Conclusion:

Les trains d'atterrissage sont des systèmes très importantes dans les avions telle qu'ils faisant la liaison entre le sol et les avions mais avec particularité d'être à géométrie variable , sans les trains d'atterrissage, les avions peuvent pas décoller ou atterrir au sol ; c'est pour ça l'industriel des avions travail a amélioré tous les caractéristiques des trains d'atterrissage pur plus de confort aux passagers et sécurité surtout.



**CHAPITRE III**  
**Présentation de L'Avion**  
**Bombardier DASH-8 Q400**

### III.1. Introduction:

Le train d'atterrissage Dash8-Q400 est à commande électrique et à commande hydraulique. La direction du train avant actionnée hydrauliquement permet un contrôle directionnel pendant le roulage, le décollage et l'atterrissage. Chaque roue principale est équipée de freins antiblocage à commande hydraulique. Il y a aussi un système de freinage d'urgence et de stationnement.

Les De Havilland Canada DHC 8 ou Bombardier Q – Séries , plus connus sous le nom Dash 8 sont une famille d'avions de ligne, développés par le constructeur canadien DHC puis par Bombardier Aéronautique, quand ce dernier rachète la filiale de Boeing en 1992. Ce sont des avions civils court-courriers doté de deux turbopropulseurs. Le Bombardier Q400, initialement appelé DHC-8-400, est renommé ainsi après l'acquisition de DHC par Bombardier.

Le Dash 8-Q400 est une version allongée, avec une longueur de 32,80 m, pouvant accueillir de 70 à 78 passagers. Cette version est entrée en service en 2000. Il est le plus gros appareil de la série Dash 8 avec 10,1 mètres plus long que le Dash 8-Q100. Depuis le rachat de Havilland Canada, Bombardier Aéronautique continue de produire le Dash 8. Depuis 1996, un système actif de réduction de bruit et de vibrations est installé à bord, et l'avion est commercialisé sous le nom de Série Q (Q comme Quiet) : Q100, Q200, Q300 et Q400. Les avions de la série « Q » consomment moins de carburant et émettent moins de gaz.

Le Q400 offre un très grand espace par passager qui, combiné au système NVS, rend le voyage nettement plus confortable et plus agréable que sur les autres avions turbo propulsés régionaux. Il peut embarquer de 68 à 78 passagers, selon la configuration, répartis dans deux rangées de deux sièges chacune. Il ressemble et concurrence particulièrement l'ATR 42, à l'ATR 72 et au Fokker F50.

#### 1.1. Caractéristiques techniques:

L'avion DASH 8\_Q400 est équipé par deux moteurs turbopropulseurs PW150 A , et deux hélices DOWTY avec six pales de chacune . [4]

- voici le tableau caractéristique suivant :

**Tableau III.1:** Caractéristiques de l'avion Q400

Constructeur	De Havilland Canada puis Bombardier
Équipage	2
Mise en service	En 2000
<b>Dimensions</b>	

Longueur	32.8 m
Envergure	28.4 m
Hauteur	8.3 m
<b>Masse et capacité d'emport</b>	
Max. à vide	17,19 t
Max. au décollage	29,26 t
Max. à l'atterrissage	28 t
Kérosène	6 526 L
Passagers	68-78
Fret	8 670 kg
<b>Motorisation</b>	
Moteurs	2 Pratt & Whitney Canada PW150A
Puissance unitaire	3 410 kW (4 636 Ch.)
<b>Performances</b>	
Vitesse de croisière maximale	670 km/h
Vitesse maximale	685 km/h
Autonomie	2 040 km
Plafond	7 620 m

### III.2. Le Système NVS (Noise and Vibration Suppression) :

Le Noise and Vibration Suppression (NVS), un système de suppression du bruit et des vibrations, peut être activée à partir du panneau de commande de la cabine (gérant également la température et l'éclairage). Ce système s'est avéré très efficace et profitable pour les passagers, car il augmente grandement le confort de la cabine.

Le NVS est constitué de petits microphones disposés le long du fuselage de l'appareil qui transmettent continuellement des données sur le son et les vibrations à un ordinateur de bord. Lorsque la vibration créée par les hélices est trop intense, l'ordinateur de bord active des atténuateurs de trépidations à vibrations accordées (ATVA), disposés eux aussi le long du fuselage. Ces atténuateurs produisent des vibrations en phases opposées à celles des hélices et annulent ainsi l'effet de vibrations de celles-ci.

En plus d'atténuer les vibrations, les ATVA atténuent aussi le bruit.

En parallèle, une hélice Dowty hexa pale à pas variable assure une optimisation de la propulsion et une réduction du niveau sonore. [5]

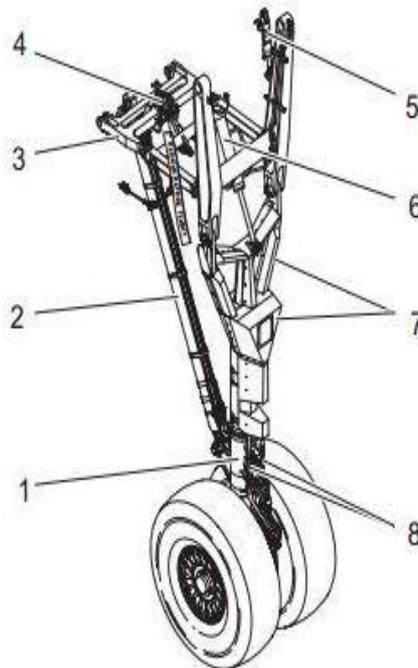
### III.3. Système Atterrissage de l'Avion DASH8 Q-400 :

#### III.3.1. Généralité:

C'est un train tricycle est une installation à double roue rétractable. Le train principal se rétracte à l'arrière dans les nacelles et le train avant se rétracte vers l'avant dans la section du nez. Les portes entourent complètement le train d'atterrissage lorsqu'il est rétracté et enferment partiellement le train lorsqu'il est abaissé. Une unité de transfert de puissance (PTU) fournit une alimentation hydraulique de secours au système hydraulique. Si le train d'atterrissage ne peut être déployé normalement, il existe une autre méthode d'extension du train d'atterrissage. Des voyants lumineux indiquent la position des portes de train et des verrous. Il existe également un autre système de vérification en aval. Un avertissement sonore retentit si le train n'est pas sorti pendant certaines configurations d'atterrissage. Une unité électronique de capteur de proximité (PSEU) surveille et contrôle le fonctionnement des composants du train d'atterrissage. Les roues avant sont orientables par une commande manuelle du poste de pilotage et par les pédales de direction. Les roues peuvent être équipées (option client) de jauges de pression de gonflage des pneus pour des moyens visuels rapides de vérification de la pression des pneus pendant la marche de l'avion. Les roues principales sont équipées de freins multidisques antidérapants. Les freins peuvent être contrôlés par les pédales de frein ou le levier EMERG BRAKE (frein à main) .

#### III.3.2. LA structure de train d'Atterrissage de la Q-400 :

- Structure de train principal :

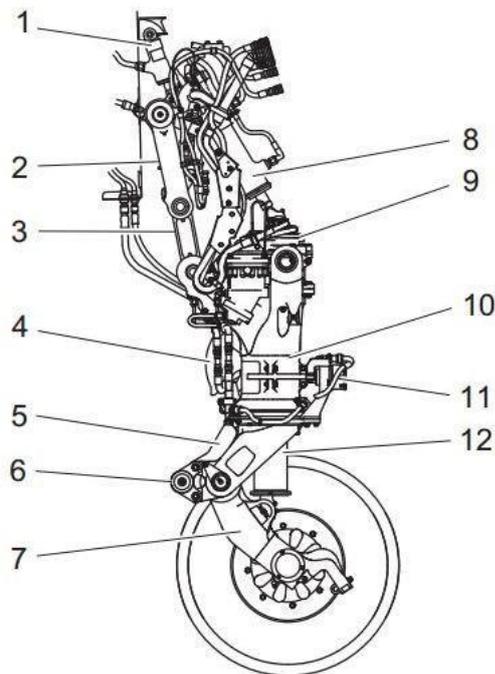


**Figure III. 1:** structure de train principal de Q-400

### Composants :

1. Strock Strut.
2. glisseur de Strut.
3. Contreventement du stabilisateur.
4. Goupille d'engrenage principal.
5. Actionneur auxiliaire.
6. Actionneur principal.
7. Carénages.
8. Capteurs de proximité.

- **Structure de train de Nez :**

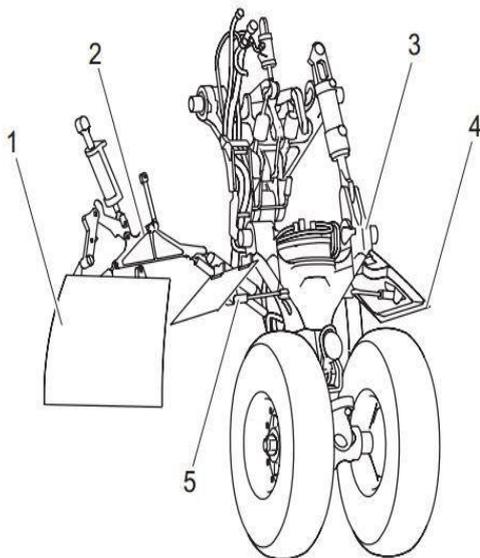


**Figure III.2:** structure train de nez de Q-400

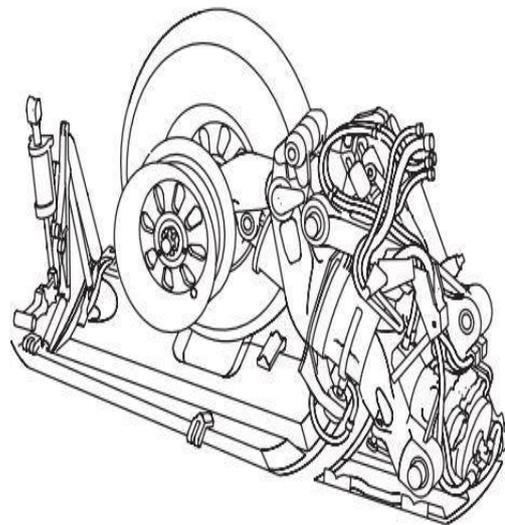
### Composants :

1. Actionneur de verrouillage.
2. Supérieur Drag Strut.
3. Strut bas.
4. Lumière de taxi.
5. Couverture de WOW.
6. Assemblage de remorquage.
7. Bras oscillant.
8. Actionneur de rétraction.
9. Boîte de direction.
10. Cylindre extérieur.
11. Actionneur de centrage.
12. Ensemble de piston.

- Les dispositifs de l'ouverture et la fermeture de train :



**Figure III.3:** Train ouvert

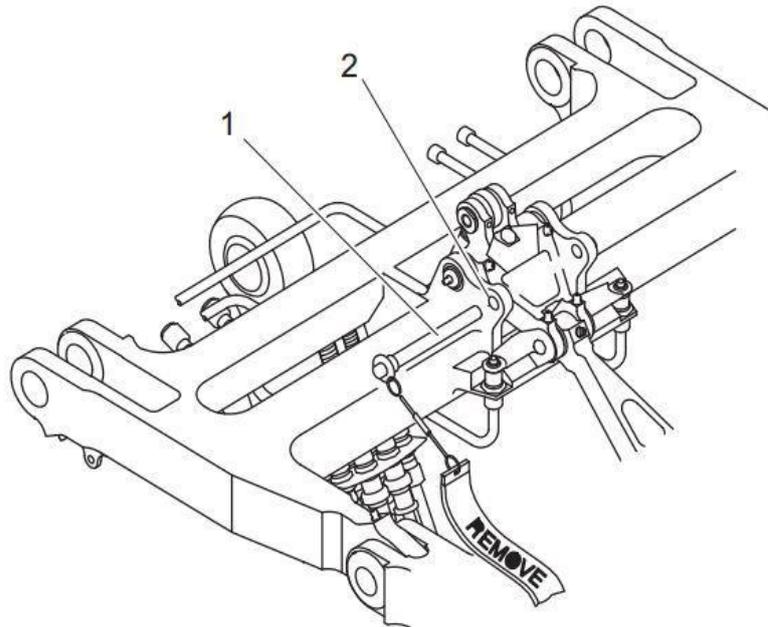


**Figure III.4:** Train fermé

### Composants :

1. Porte avant.
2. Mécanisme de fonctionnement de la porte avant.
3. Assemblage de jambe de choc.
4. Porte arrière. 5. Liaison d'actionnement de porte arrière.

- **Système verrouillage de Train d'Atterrissage :**



**Figure III.5:** système verrouillage de Train d'atterrissage

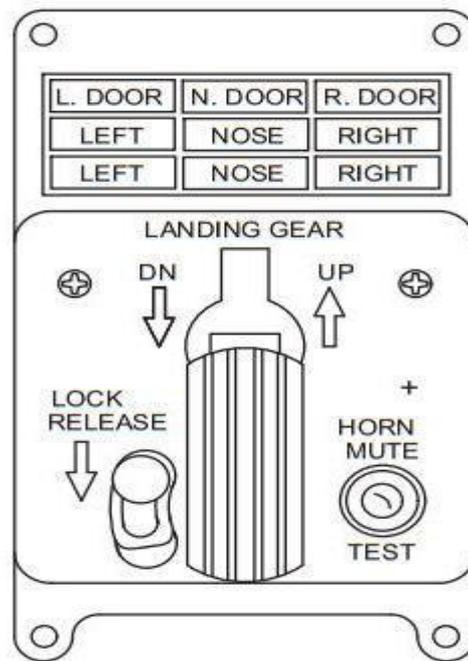
**Composants :**

1. La broche de verrouillage.
2. Le trou du verrouillage.

- **Autre extension de Train d'atterrissage :**

L'autre système d'extension permet d'allonger le train d'atterrissage lorsque :

- Le voyant d'avertissement LDG GEAR INOP est allumé
- L'indication du train d'atterrissage échoue
- Perte de la pression du système hydraulique n ° 2(system hydraulique)



**Figure III.6:** LDG GEAR INOP instrumentation

L'interrupteur "INHIBIT" d'extension du train d'atterrissage est installé dans le plafond du poste de pilotage, à côté de la porte principale de "ATTERRISSAGE ALTERNATE RELEASE". Le réglage de l'interrupteur sur "INHIBIT" isole toute la pression hydraulique du système de train d'atterrissage.

Lorsque la porte principale du "LANDING GEAR ALTERNATE RELEASE" est ouverte sur le plafond du poste de pilotage, elle ouvre mécaniquement une soupape de dérivation dans le système d'extension hydraulique normal et donne accès à la poignée. En tirant sur la poignée, vous relâchez les portes du train d'atterrissage principal et les verrous. L'engrenage principal chute librement, mais peut ne pas s'étendre complètement. La porte de l'alternative extension, située sur le plancher du poste de pilotage, doit alors être complètement ouverte pour permettre l'accès à la pompe à main d'extension de secours et à la poignée de déverrouillage de nez. L'ouverture de la porte actionne mécaniquement la vanne de sélection alternative "MLG". Si le "MLG" n'atteint pas la position abaissée et verrouillée, la poignée de la pompe d'extension, située derrière le copilote, est insérée dans la douille de la pompe et actionnée pour terminer l'extension du train principal et la verrouiller ensuite. La porte de l'alternatif de la boîte de pilotage et la porte du contacteur de remontage alternatif de la boîte principal doivent être laissées complètement ouvertes après l'extension de l'autre train d'atterrissage.

Lorsque la poignée du L / G RELEASE du NOSE est tirée, le train d'atterrissage du train avant et les portières sont relâchés et le train avant tombe en position abaissée et verrouillée, assisté par le flux d'air vers le bas et verrouillé. [6].

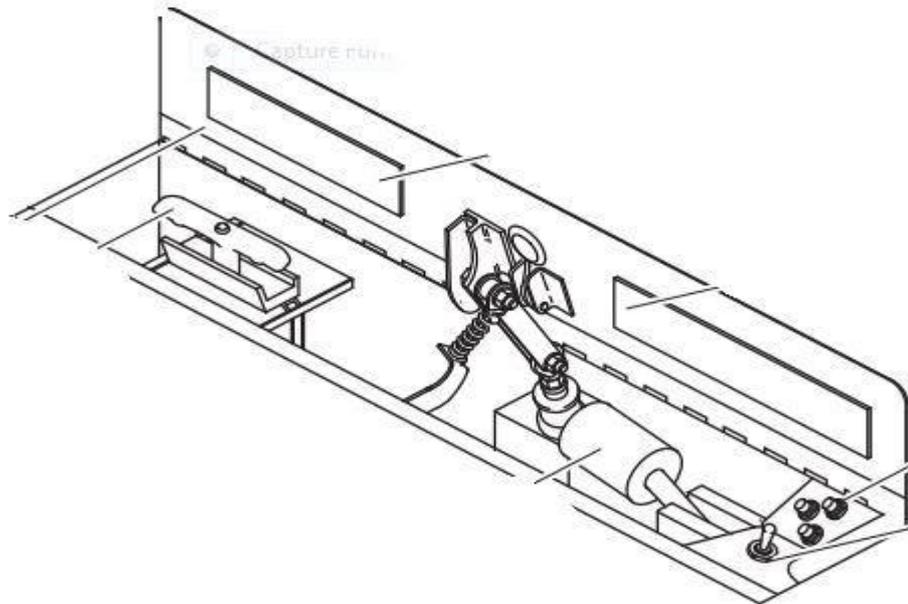


Figure III.7: commande hydraulique manuel du train

- Circuit de la commande manuel de train d'atterrissage :

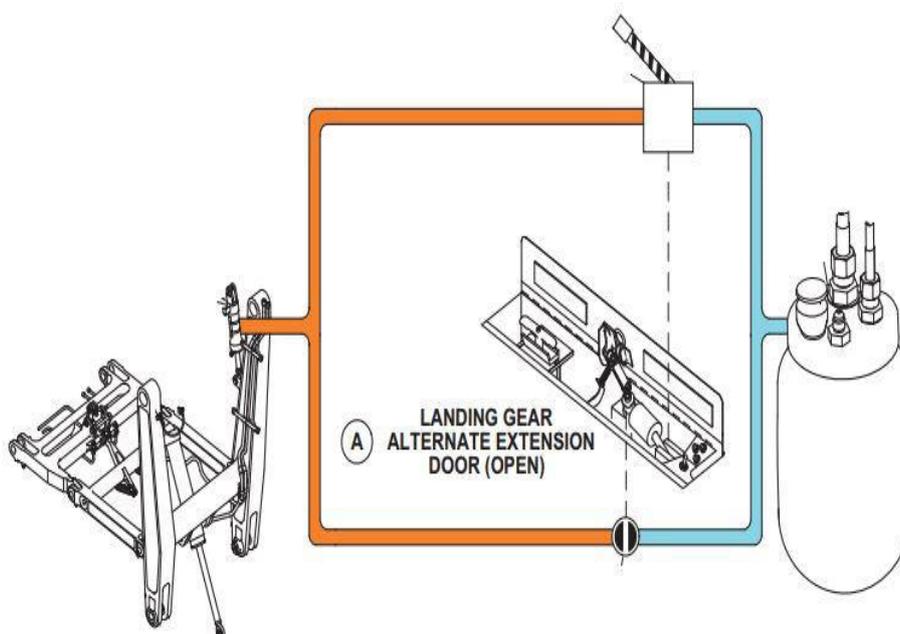


Figure.III.8 : schéma commande manuel de train d'atterrissage

### III.4. Généralité sur le système hydraulique :

#### III.4.1 Généralité :

le dash8-Q400 a quatre systèmes hydrauliques. trois systèmes principaux et un système auxiliaire les systèmes principaux indépendants 'n1' et 'n2' fournissent l'énergie nécessaire pour faire fonctionner:

- commandes de vol
- train d'atterrissage
- direction de la roue avant
- Systems de freinage

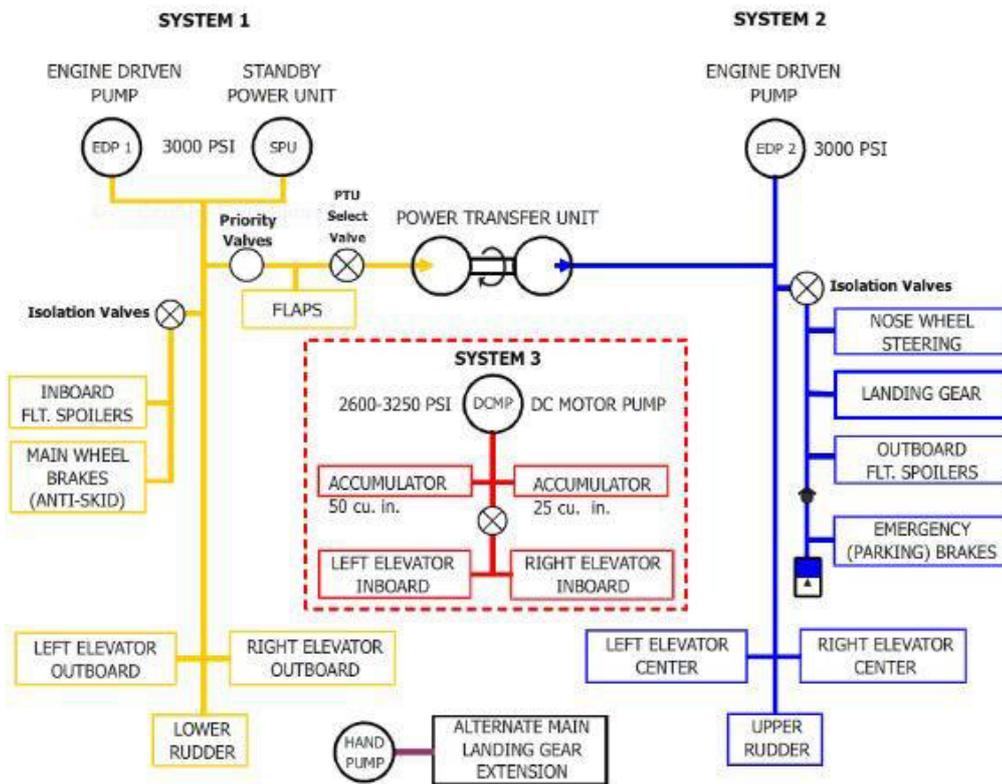


Figure III.9 : Schéma distribution Hydraulique de l'avion

- La puissance hydraulique principale est fournie par trois systèmes hydrauliques indépendants, désignés n° 1 (gauche), n° 2 (droite) et n° 3. Les systèmes hydrauliques n° 1 et n° 2 sont normalement pressurisés par une seule pompe motorisée (EDP) pour chaque système. La pression du système est maintenue à 3000 psi.
- Le système hydraulique n° 3 est alimenté par un accumulateur qui est pressurisé par une pompe DC-Motor-Driven-Pump (DCMDP).

- Un pressostat contrôle le fonctionnement du DCMP pour maintenir la pression de l'accumulateur entre 2600 et 3250 psi.
- Une pompe hydraulique de secours entraînée électriquement sert de secours au système hydraulique n ° 1. Il fonctionne pendant les phases de décollage et d'atterrissage, ou si le moteur n ° 1 tombe en panne. Une unité de transfert de puissance (PTU) fonctionne comme une sauvegarde du système hydraulique n ° 2. Le PTU est alimenté par le système hydraulique n ° 1. Si les deux moteurs tombent en panne, alors que les pompes EDP et la pompe hydraulique de secours ne sont pas disponibles, le système hydraulique DCMP n ° 3 fournit une puissance hydraulique suffisante aux vérins pour le contrôle du pas.

### III.4.2. Le système n ° 1 Alimente:

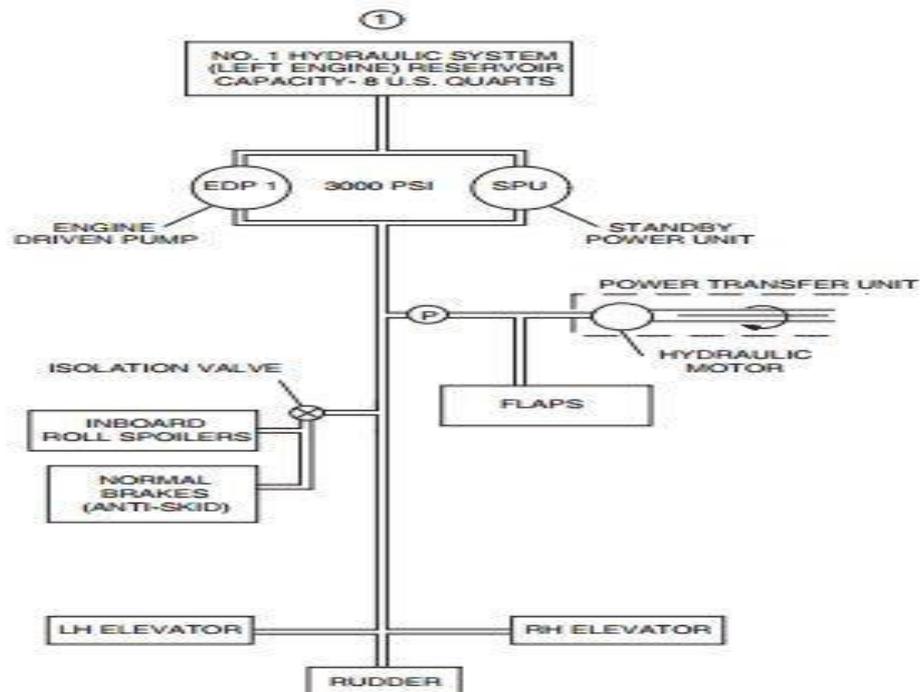
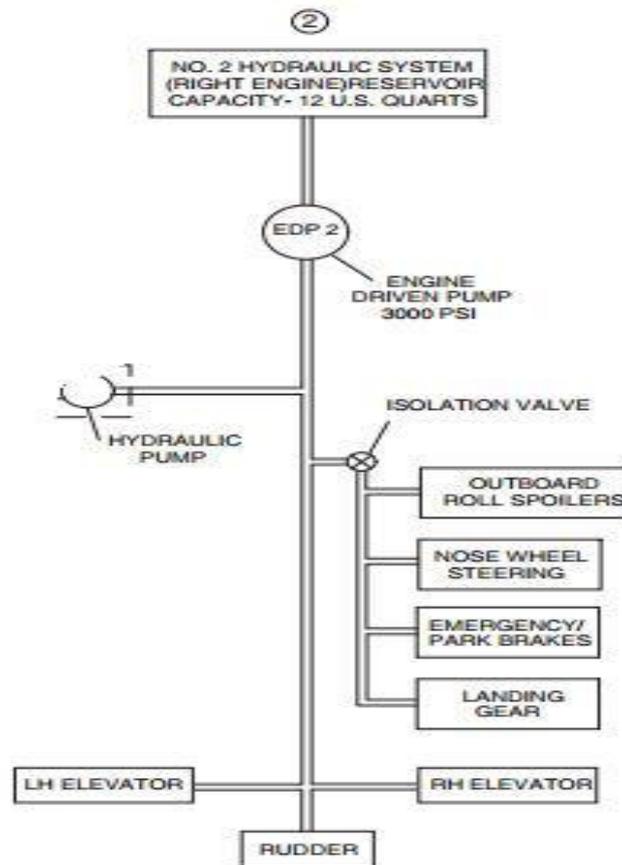


Figure III.10 :Système n ° 1 Alimente

- Volets
- Gouvernail (unité de commande de puissance inférieure (PCU))
- Spoilers à rouleaux intérieurs
- Ascenseurs (PCU externes)
- Freins de roue principaux / antidérapants

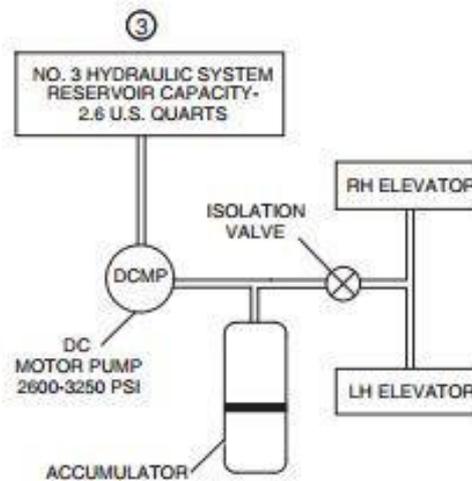
**III.4.3. Le système n ° 2 alimente:**



**Figure III.11 : Le système n ° 2 alimente**

- Train d'atterrissage
- Direction de roue de nez
- Spoilers à rouleaux extérieurs
- Freins de secours / de stationnement
- Gouvernail (PCU supérieure)
- Ascenseurs (PCU centrales)

**III.4.4. Le système n ° 3 fournit une alimentation de secours pour:**



**Figure III.12 :** système n ° 3 fournit une alimentation de secours

- Ascenseur gauche (Vérin hydraulique)
- Ascenseur droit (Vérin hydraulique)

**III.4.5. Le système hydraulique d'urgence alimente:**

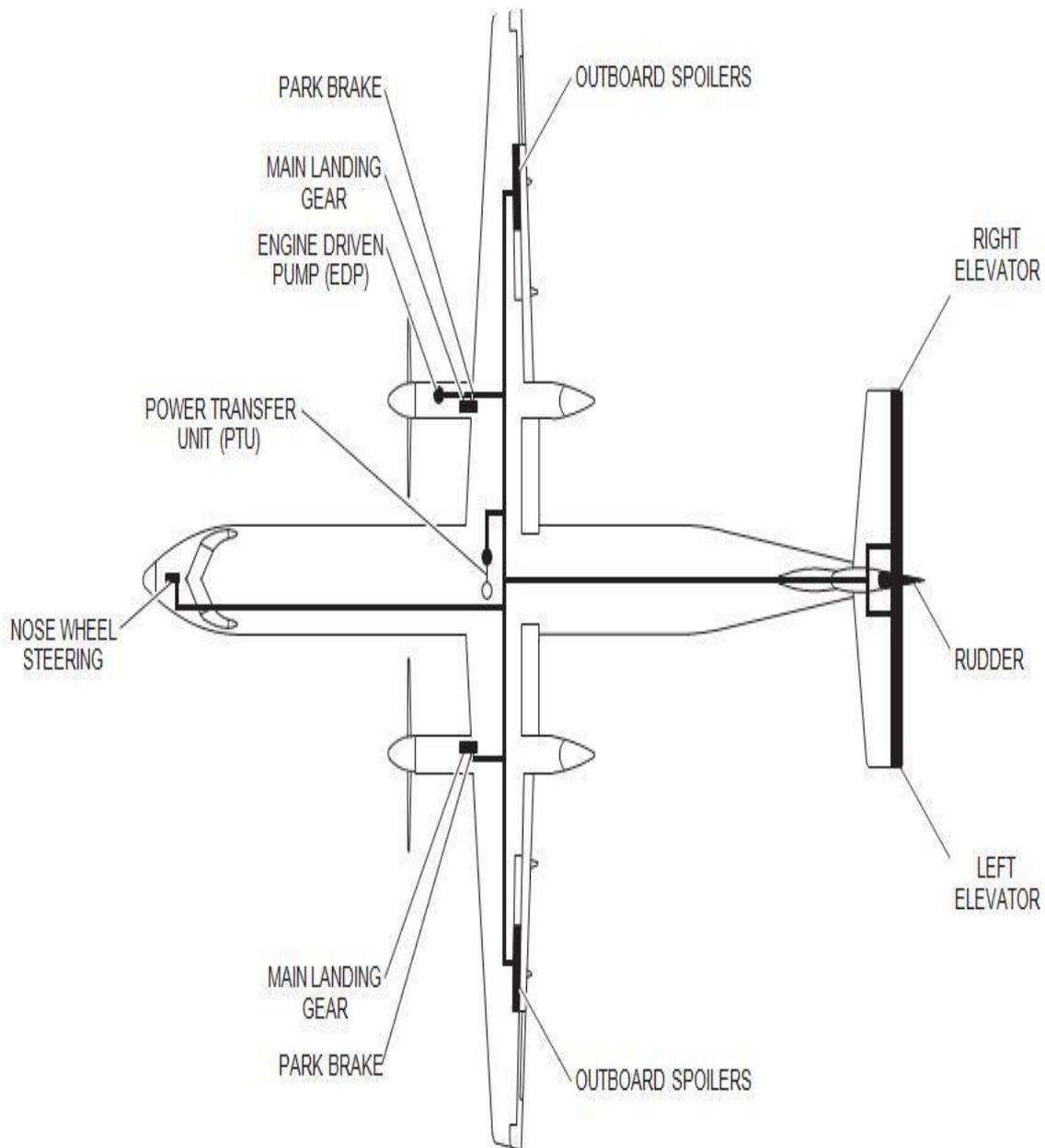


**Figure III.13 :** système hydraulique d'urgence alimente

- Système d'extension du train d'atterrissage auxiliaire.

**III.4.6. Schéma des éléments commandés par Hydraulique :**

[7]



**Figure III.14:** Les éléments commandés par Hydraulique

**III.5. Système du freinage principal :**

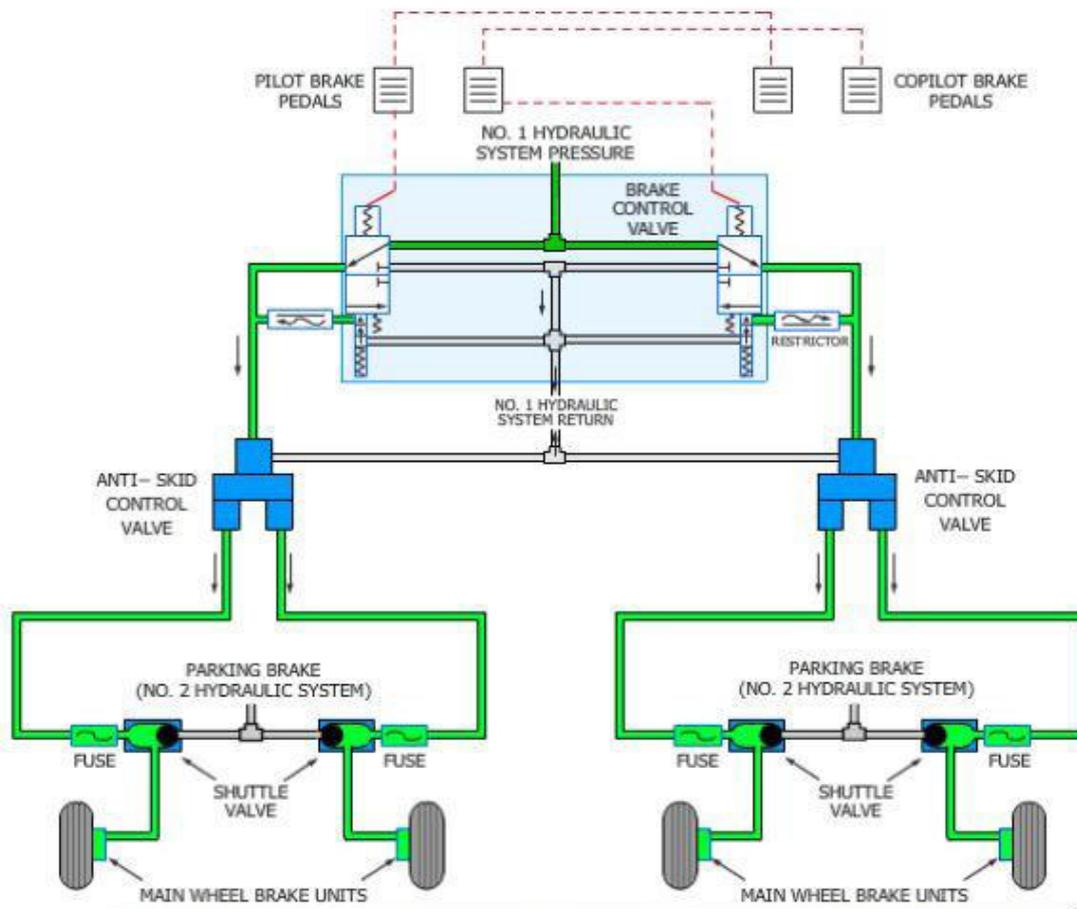
**III.5.1. Principe de fonctionnement :**

Le système de freinage du train d'atterrissage principal permet à l'avion de freiner normalement pour diminuer sa vitesse pendant le fonctionnement au sol.

La pédale de frein du pilote est ensuite poussée; le tirant attaché actionne une tige de poussée pour actionner le niveau de contrôle du frein.

Le mouvement du levier de commande de frein étend le ressort de levier et tire le câble de commande pour actionner le levier applicable sur la soupape de commande de frein. La pression hydraulique du système 1 "est fournie à la soupape de commande de dérapage lorsque la soupape de commande de frein est actionnée.

La soupape de commande de frein fournit une pression hydraulique proportionnelle à la course de la pédale de frein. La pression hydraulique est fournie par la soupape de commande de dérapage à travers le fusible / les leviers de fermeture au système de freinage MLG approprié.



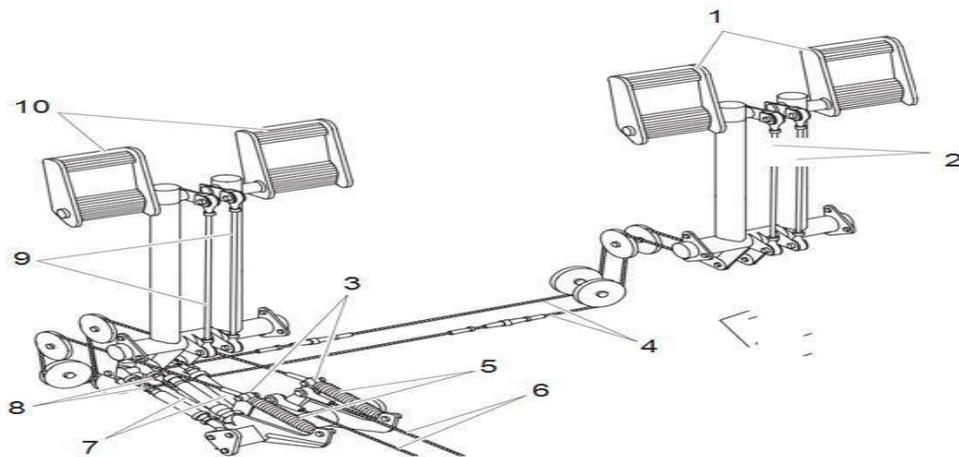
**Figure III.15:** Schéma structure de système freinage de l'avion Q-400

Lorsque la pédale de frein est relâchée, le ressort du levier remet la pédale de frein sur "off" position. la pression de freinage est relâchée et l'orifice d'entrée de la soupape est fermé.

Lorsque l'unité de freinage MLG est actionnée, le fluide hydraulique sous pression provenant du système de freinage MLG déplace les pistons pour pousser l'ensemble de plaque de pression. L'ensemble de plaque de pression pousse les disques de rotor, les disques de stator et la plaque d'extrémité ensemble.

Lorsque les disques du rotor et du stator sont poussés l'un contre l'autre, le frottement entre les disques provoque une résistance. la résistance est transmise par l'unité de freinage MLG à la roue et aux ensembles de pneus entraînant le ralentissement de la roue

### 5.2. Commande au freinage :

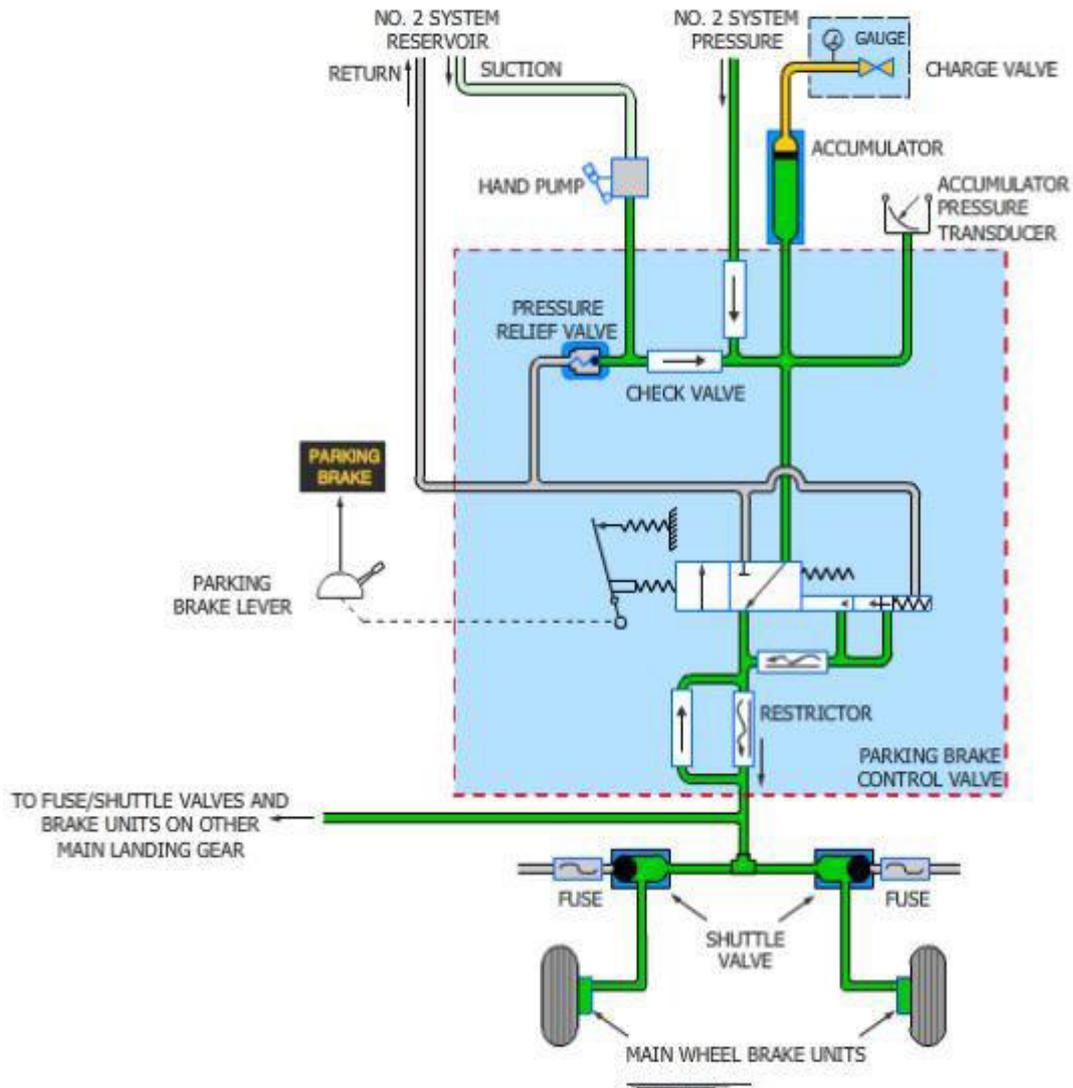


**Figure III.16:** Schéma de commande au freinage

#### \*Composants :

1. Pédales de frein Copilote.
2. Tiges
3. Leviers de commande de frein.
4. Câbles d'interconnexion de frein.
5. Lever Springs.
6. Câbles à la soupape de commande de frein.
7. Pousser les tiges.
8. Cannes à ressort.
9. Tiges
10. Pédales de frein pilote.

**III.5.3. System frein à main (parking brake) :**



**Figure III.17:** Schéma de frein de stationnement

Le système de frein de stationnement utilise la pression hydraulique du système hydraulique No.2. Un accumulateur dans le système de freinage fournit une pression pour le fonctionnement du frein de stationnement lorsque les moteurs sont arrêtés.

Une pompe à main peut être utilisée pour pressuriser manuellement l'accumulateur lorsque l'aéronef est au sol.

La pression des freins de stationnement est appliquée uniformément à l'ensemble de l'unité de frein de roue principale. Un panneau d'avertissement du frein de stationnement dans le compartiment de vol s'allume lorsque le levier du frein de stationnement est en position de stationnement (ON).

Un indicateur de pression est installé dans le compartiment de vol pour indiquer la pression de frein de stationnement disponible.

### III.5.4. System anti\_dérapant (Anti-Skid system) :

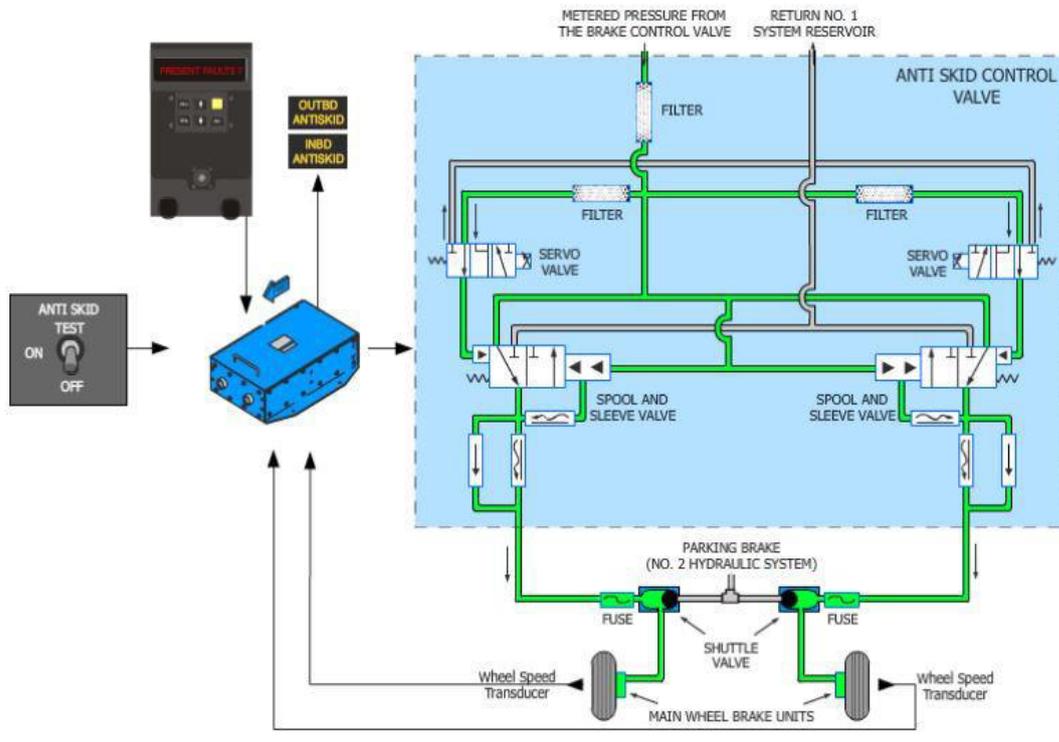


Figure III.18 : Schéma présente structure de l'antidérapant

La pression hydraulique du système anti-dérapant sur les quatre unités de frein de roue principales pour fournir une protection anti-dérapage individuelle des roues.

Les pédales de frein contrôlent la pression hydraulique du système hydraulique n° 1 à travers la soupape de commande de frein jusqu'aux soupapes de commande antidérapantes.

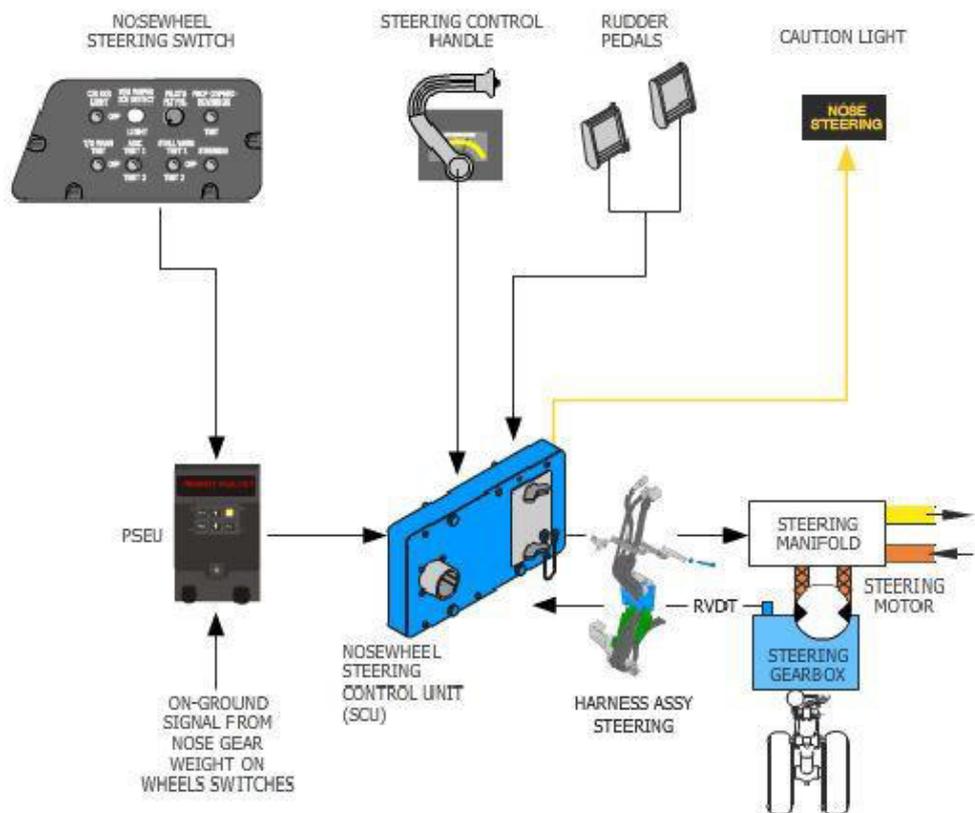
Les soupapes de commande anti-dérapage contrôlent la pression hydraulique des soupapes de fusible / navette et des unités de freinage.

Lorsque le système antidérapant détecte une condition de dérapage, il envoie un signal à la commande de dérapage applicable pour chaque roue principale.

Le système antidérapant fonctionne avec le système de freinage normal.

**III.6. Le system de Guidage (Steering system ) :**

Le système de direction donne le contrôle directionnel de l'avion au sol.

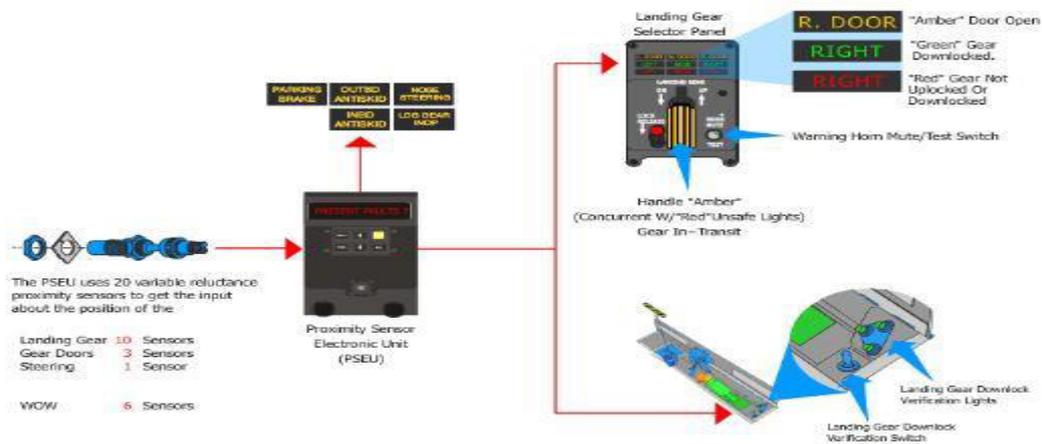


**Figure III.20 :** Structure de système de direction de l'avion Q-400

Le système de direction fournit l'amortissement de shimmy des roues de nez. l'interrupteur de direction situé dans le compartiment de vol règle ce système sur le mode «marche». L'amortissement passif et libre des roues avant est fourni par le système de centrage des roues avant lorsque l'interrupteur de sélection du pilote est en mode «arrêt».

Si un composant du système de direction tombe en panne, le système de centrage des roues avant fournira un amortissement passif et passif des roues avant. le mode roue libre et passive permet de diriger la roue avant - + 120 degrés à gauche et à droite de la position centrale.

### III.7. Capteurs et Instrumentation :



**Figure III.21:** l'unité électronique de l'interrupteur de proximité (PSEU).

Le témoin de position du train d'atterrissage indique la position de chaque train d'atterrissage et des portes correspondantes. Les feux de position du train d'atterrissage sont actionnés par les capteurs "uplock" et "downlock" à travers l'unité électronique de l'interrupteur de proximité (PSEU).

Une indication ultérieure de l'extension du train d'atterrissage est donnée par les indicateurs visuels. Les indicateurs visuels sont installés dans le compartiment de vol derrière la porte extension alternative de l'atterrissage.

Un voyant d'avertissement de frein de stationnement, sur le panneau d'avertissement et d'avertissement dans le compartiment de vol s'allume lorsque le frein de stationnement est placé en position PARK.

Un avertissement de configuration du train d'atterrissage est émis dans le compartiment de vol par l'unité audio de télécommande (RCAU).

L'avertissement de configuration du train d'atterrissage est valide si tous les trains d'atterrissage ne sont pas en état de sécurité pour l'atterrissage. Un avertisseur sonore et un interrupteur d'essai sont installés sur le panneau de sélection du train d'atterrissage.

#### III.7.1. LA liste des capteurs au système d'atterrissage :

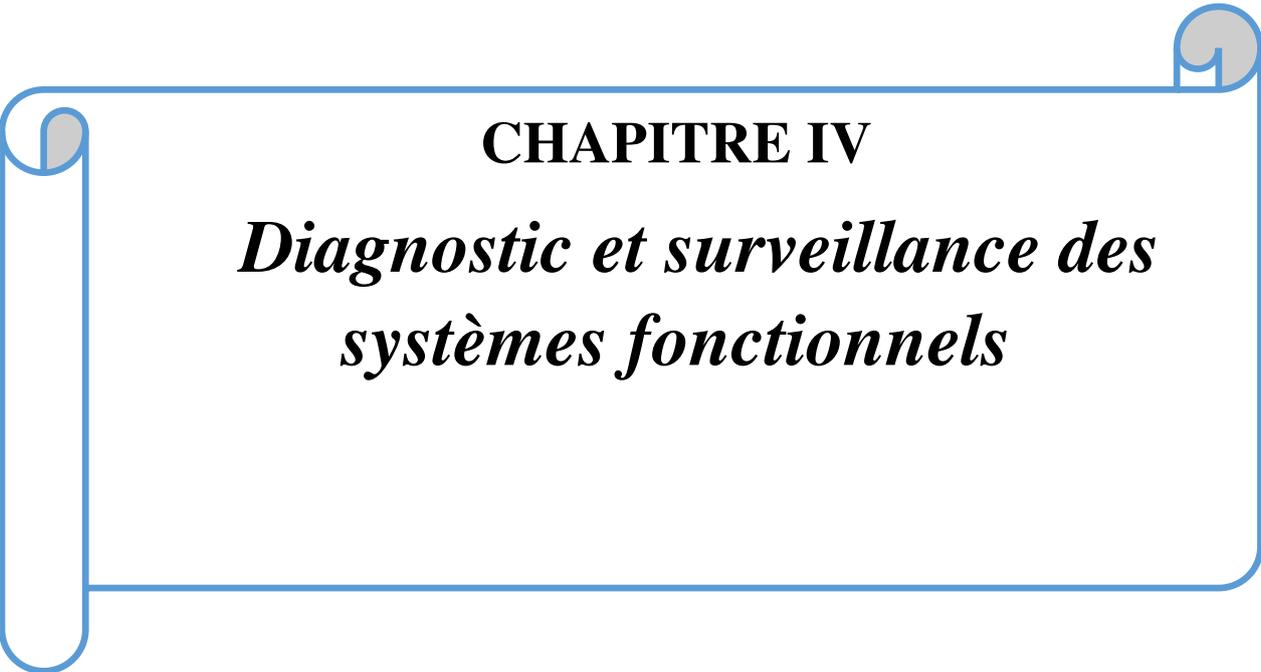
- 10 capteurs d'atterrissage.
- 6 capteurs de charge dans les roues (weights en wheels).
- 3 capteurs dans les portes
- 1 capteur de control (steering sensor). [8]

### **III.8. Conclusion:**

L'Avion Bombardier DASH\_8 Q-400 est une avion de moyenne taille qui peut porter plus que 84 passagers, possède deux grands moteurs de type turbopropulseur qui consomment moins de carburant et émet moins du gaz polluant, cet avion est classé parmi les plus rapides avion turbopropulseur.

Le signe «Q» ou «Quiet « c.-à-d. silencieuse grâce à la technologie de "NVS" (noise and vibration suppression). Qui donne plus de confort aux passagers.

Concernant le système d'atterrissage de cet avion, c'est un train qui compose quatre roues en train principales et deux roues en train de nez (train avant). Ainsi que le système freinage équipé de l'ABS et ESP qui est alimenté par un système hydraulique.



**CHAPITRE IV**

***Diagnostic et surveillance des  
systèmes fonctionnels***

### **IV.1. Introduction :**

Pour faire face au besoin du marché et à la concurrence économique qui devient de plus en plus sévère, les industriels travaillent pour l'amélioration de la production et la sécurité pour répondre à la satisfaction client.

Pour cela ils fraisent l'appelle à des méthodes de la maintenance et la sécurité industrielle pour atteindre un niveau maximal de la production ainsi que la qualité ; la fiabilité ; la sécurité et la sureté de fonctionnement de ses produits selon des normes international.

La sécurité industrielle est une partie intégrante et indissociable de la commande, telle qu'on ne peut pas envisager une installation industrielle sans une coche qui assure la sécurité, en effet, la sécurité non seulement évite les explosions qui pourraient provoquer des dégâts matériels et humains mais aussi assure la continuité de la production, ainsi elle assure la survie de l'installation. Les techniques qui assurent la sécurité dans une installation industrielle sont : le diagnostic, la surveillance, la maintenance et la supervision, la supervision intervient plus souvent dans les milieux à haut risque tel que dans les installations nucléaires, chimiques etc...

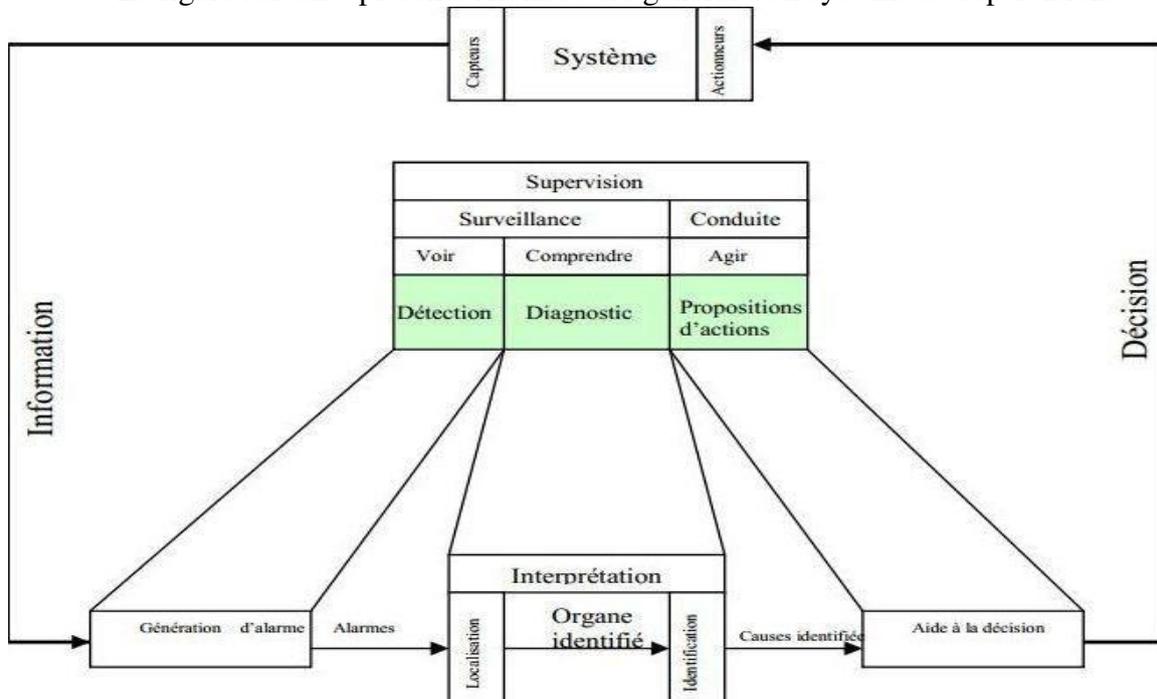
Dans le domaine technique, la fonction « maintenance » regroupe deux grandes classes d'activités: les activités relatives à la gestion et à l'organisation de la maintenance et les activités relatives à ses aspects techniques. Cette dernière classe est souvent englobée dans la supervision, notamment quand il s'agit de traiter des systèmes complexes tels que des centrales nucléaires ou des dispositifs électroniques de gestion du trafic ferroviaire, par exemple. Elle concerne les tâches de prévention, de diagnostic et de dépannage

Dans le passé, les systèmes automatisés de production ont aidé à assister l'opérateur dans des tâches de conduite automatique du processus pour améliorer la qualité des produits finis, la sécurité et le rendement des unités industrielles. Le but essentiel était l'amélioration de la production en implantant des commandes performantes. Aujourd'hui, un autre défi est relevé, il s'agit de l'automatisation de la supervision des processus en utilisant un système intelligent fournissant à l'utilisateur une aide dans la gestion de ses tâches d'alarmes urgentes dans le but de faire augmenter la fiabilité et la sûreté de fonctionnement des processus. [9].

### • Quelques Définitions:

- Erreur : Une erreur est définie comme l'écart entre une valeur mesurée ou estimée d'une variable et la vraie valeur spécifiée par le modèle d'un capteur jugé théoriquement correcte [10].
- Défaut : Un défaut est un écart entre un comportement attendu et un comportement observé. Cet écart est constaté grâce à un indicateur de défaut. Un défaut peut être invisible pendant un certain temps avant de donner lieu à une défaillance.
- Défaillance : Une défaillance est une modification indésirable du système se traduisant par une variation d'un ou de plusieurs paramètres par rapport à une valeur de référence. Les défaillances peuvent provenir des actionneurs, des capteurs, des contrôleurs ou du processus lui-même.
- Résidu : Un résidu ou indicateur de fautes exprime l'incohérence entre les informations disponibles et les informations théoriques fournies par un modèle.
- Panne : Une panne est une interruption permanente de la capacité du système à réaliser sa fonction requise.
- Supervision : La supervision consiste à conduire une installation industrielle aux moyens d'écrans de supervision placés aux postes de pilotage, rafraîchis à chaque instant par les informations provenant des automatismes et des capteurs intelligents.

La figure suivante présente Architecture général d'un système de supervision:



**Figure IV.1:** Architecture général d'un système de supervision

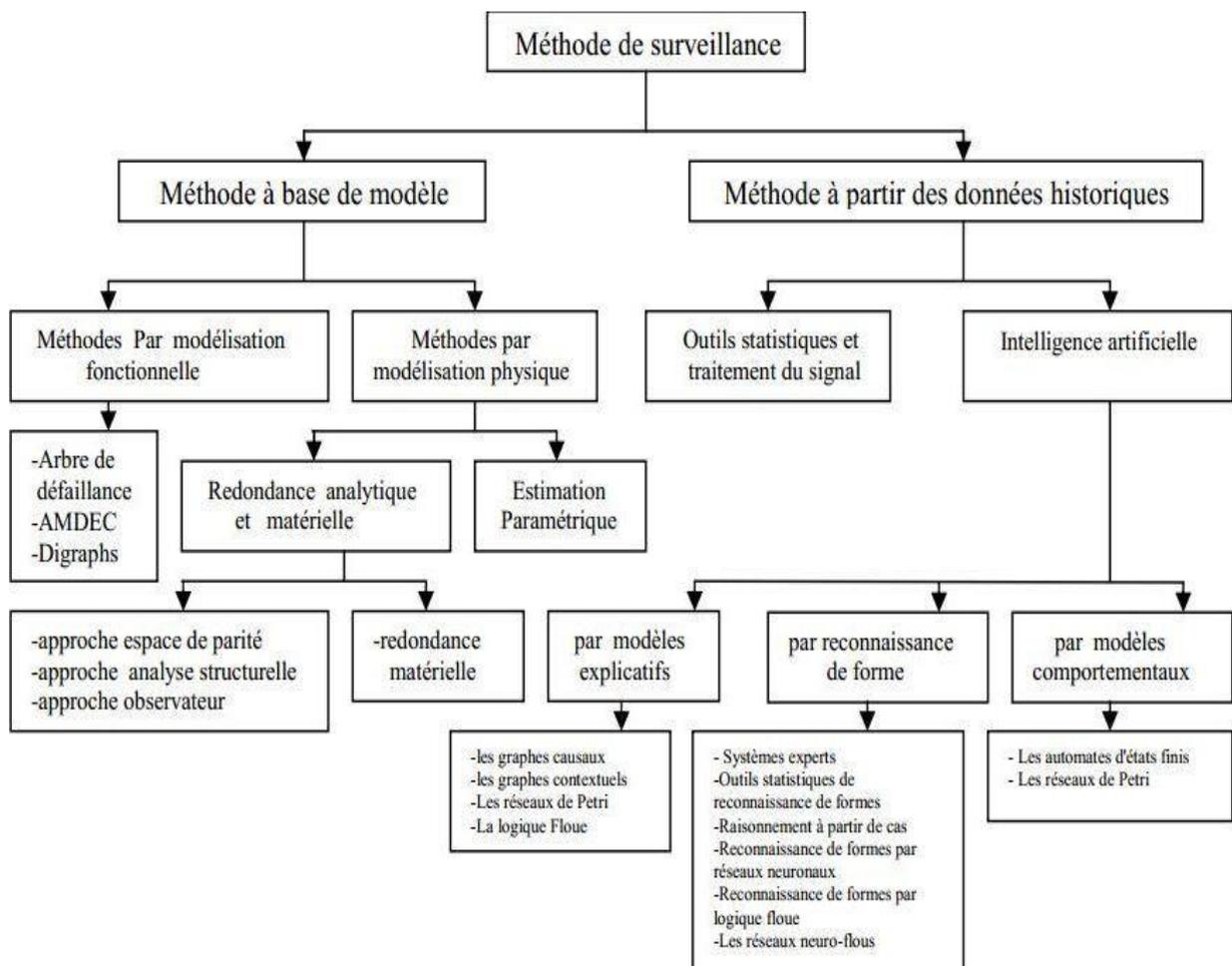
**IV.2. Classification des méthodes de surveillance:**

Les méthodes de surveillance sont divisées en deux catégories: les méthodes de surveillance avec modèle et les méthodes de surveillance sans modèle :

La première catégorie se base sur le modèle analytique du système à surveiller et utilise généralement des techniques de l'Automatique [11]

La deuxième catégorie de méthode se divise en deux sous catégories, la première correspond aux statistiques de Traitement du Signal qui sont généralement qualifiés d'outils de traitement de bas niveau, parce qu'ils sont en contact direct avec le signal capteur, et ne servent généralement que pour la génération d'alarmes brutes, sans aucune information concernant leur signification, la deuxième sous-catégorie est orientée vers la communication avec l'opérateur, cette sous-catégorie utilise l'Intelligence Artificielle, et serve comme outil de base pour l'aide à la décision, les méthodes de cette catégorie sont plus efficaces, car elles sont capables de détecter, d'interpréter et de diagnostiquer les défauts [12].

Voici la classification des méthodes du diagnostic et surveillance dans la structure suivante:



**Figure.IV.2:** Classification des méthodes de surveillance

### IV.2.1. Méthodes de classification Avec Model :

Cette catégorie de méthodes à base de modèle, fait appel à des techniques d'automatique, et elle intervient directement sur les signaux provenant de la chaîne de mesure, elle est la catégorie la plus utilisée dans l'industrie [13]. Elle se compose de deux sous catégories de méthodes:

### IV.2.2. Méthodes diagnostic à partir de modélisation physique :

Cette méthode est basée sur la comparaison entre des informations fournies par le modèle analytique ; toute écart ou effet inattendu pensé comme défaut ou défaillance.

Cette méthode est composée de deux techniques :

- Technique de Redondance physique et Analytique.
- Technique d'estimation paramétrique.

#### IV.2.2.1 Technique redondance physique et Analytique :

##### A) Redondance physique (Matériels):

La redondance matérielle est la plus ancienne méthode utilisée pour le contrôle de la crédibilité des mesures, son principe est de doubler, tripler... les composants physique dans une installation, par exemple, en installant plusieurs capteurs qui mesurent la même variable, ce qui permet de détecter très facilement les pannes capteurs dans les installations industriels

- **Exemple sur Redondance par Double matérielle :**

Le principe de la redondance double matérielle est de mettre deux capteurs en parallèle et un filtre passe bas.

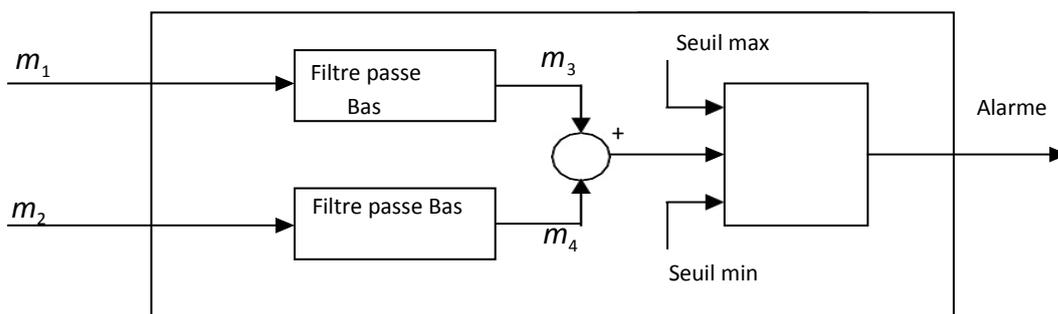


Figure IV.3: redondance double matériel(double capteur)

Avec:

$m_1$  et  $m_2$  : sont des mesures issues de deux capteurs différents mesurant la même nature de variable.

$m_3$  et  $m_4$ : sont les mesures de " $m_1$ " et " $m_2$ " après filtrage du bruit par un filtre passe.

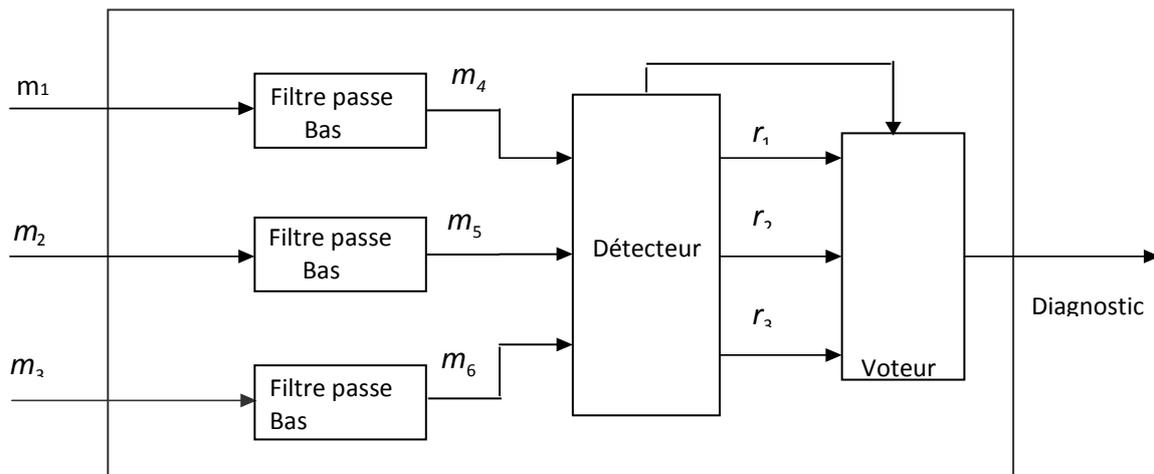
La différence ( $m_3-m_4$ ) sera comparée à un seuil ; si cette différence se dépasse le seuil max ou min, une Alarme sera déclenchée c-t-d un capteur est en panne.

Avec cette méthode on peut pas détecter le capteur défaillant entre ces deux pour cela on doit passer ou redondance triple matérielle. [14]

- **Exemple sur Redondance par triple matérielle :**

Le principe de la redondance matérielle triple est de mettre trois capteurs en parallèle, un voteur (sélectionneur) qui va faire un vote de trois signaux issus des trois

Capteurs, pour donner le signal final qui sera pris en considération:



**Figure IV.4 :** Redondance triple matérielle (triple capteur )

avec:

$m_1, m_2$  et  $m_3$  sont des mesures des trois capteurs des même variable (des même signaux )

$r_1 = m_4 - m_5$  (Le residu1)

$r_2 = m_4 - m_6$  (Le residu2)

$r_3 = m_5 - m_6$  (Le residu3)

donc le voteur va détecter lequel entre ces trois capteurs est en panne par la comparaison entre les trois résidus  $r_1, r_2$  et  $r_3$ .

### B) Redondance Analytique :

L'idée de base est de comparer le comportement observé et le comportement attendu du système, pour cela on a besoin de connaître le modèle mathématique du système, si le comportement observé du système ne vérifie pas les équations du modèle alors on en déduit que le système ne fonctionne pas normalement.

- **Approche par espace de parité:**

Cette approche est utilisée sur des systèmes linéaires, et devient inexploitable devant les systèmes non linéaires, il existe deux types de redondance analytique par espace de parité: [11] .

\*redondance statique.

\*redondance dynamique.

- **Redondance statique :**

L'objectif de la redondance statique est de trouver un ensemble de relations algébriques, en fonction uniquement des mesures fournies par les capteurs, ces relations sont données par des vecteurs appelés vecteur de parité.

Soit le modèle suivant :

$$y(t) = Cx(t) + f(t) \tag{IV.1}$$

avec:

$y(t)$ ; est le vecteur des mesures.

$C$ : est la matrice d'observation.

$x(t)$  : est le vecteur d'état.

$f(t)$  : est le défaut de capteur.

- **Redondance dynamique:**

La redondance dynamique est une généralisation de la redondance statique, elle cherche à trouver une relation entre les différentes mesures et les différentes entrées du système à tout instant.

Soit le modèle discret suivant :

$$\begin{aligned}x(k + 1) &= F x(k) + G u(k). \\y(k) &= C x(k)\end{aligned}\tag{IV.2}$$

avec:

x: est le vecteur d'état .

F: est la matrice d'état.

G: est la matrice d'entrée.

y: est le vecteur de sortie.

u: est le vecteur d'entrée.

Le but c'est de trouver une relation sous la forme suivante:

$$p(k, h) = V(y(k, h) - G(h) u(k, h)).$$

On remarque que cette équation( IV.2 ) dépend que des entrées et mesures du système , et que a l'absence des défauts sera nulle.

- **La Détection:**

Cette étape est très importante car elle doit permettre de décider si le système se trouve ou non dans un état de fonctionnement normal en comparant les valeurs des résidus à des seuils qui sont fixés auparavant. En pratique, le signal mesuré est souvent entaché de bruit, et le modèle du système est souvent imparfait car le système réel est soumis à des perturbations non nécessairement mesurables, ce qui rend le résidu non nul même à l'absence de défaut, Par conséquent, cette étape fait le plus souvent appel aux tests statistiques ou, de manière plus simple, est réalisée à l'aide d'un seuillage, Le schéma suivant représente la comparaison d'un résidu à un seuil. [16]

### **IV.2.3. Méthodes sans modèle :**

Dans certaines applications industrielles, il est difficile, d'obtenir le modèle du système. Cette difficulté est justifiée par la complexité du système. En effet, seules les méthodes du diagnostic sans modèles sont opérationnelles Pour ce type d'applications industrielles. Ces méthodes du diagnostic se basent sur des informations issues d'une expérience préalable ou sur des règles heuristiques. [ 17 ].

Pour cela on a la méthode basée aux données historiques suivantes :

#### **IV.2.3.1. Méthode de L'intelligence artificielle :**

Ces méthodes se basent sur les techniques de l'intelligence artificielle (IA).en effet que l'Intelligence Artificielle permet de contourner les obstacles rencontrés par des méthodes classique et d'une manière générale, L'Intelligence artificielle est relativement bien adaptée aux problèmes du surveillance, telle que elle est capable de traiter une grande quantité d'information, des données non homogènes(numérique / symbolique ) et aussi des données incomplète. [18]

Ces méthodes se divisent en trois méthodes:

- \*Les méthodes a base de modèles comportementaux.
- \*Les méthodes de reconnaissance de formes .
- \*Les méthodes a base de modèle explicatif .

#### **IV.2.3.2 Surveillance par outils statiques du Traitement du Signale:**

Cette technique suppose que les signaux provenant de la chaîne de mesure possèdent certaine propriétés statiques; ces propriétés identifiées par des testes et comparées par avec des propriétés d'un échantillon de signaux de mesure prélevé en mode de fonctionnement normal .[19]

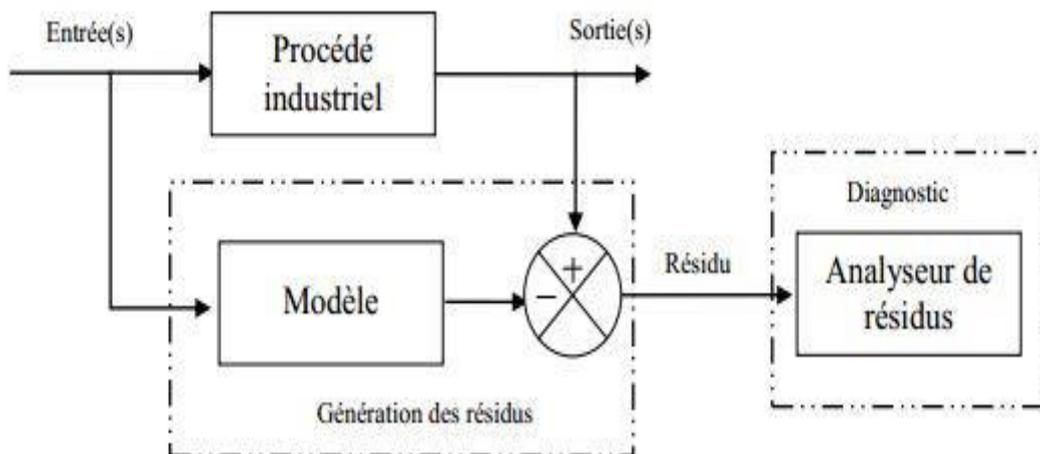
**IV.2.4.1. Les modèles quantitatives :**

Le principe de diagnostic à partir des modèles quantitatifs consiste à comparer le comportement réel du système tel qu'il peut observer par l'intermédiaire de capteurs et son comportement attendu tel qu'il peut prédire grâce aux modèles de bon fonctionnement. Toute contradiction entre les observations et les prédictions déduites des modèles autrement des résidus ou bien des détecteurs des défauts permet de révéler la présence d'un ou plusieurs défauts. [20].

Trois approches sont particulièrement utilisées dans la génération des résidus sont :

- L'approche d'estimation paramétrique.
- L'approche de l'espace de parité (Redondance Physique et Analytique).
- L'approche à base d'observation ou filtre.

Voici la figure suivante présente le principe de diagnostic par la génération des résidus:



**Figure IV.5 :** Principe de diagnostic par la génération des résidus

**IV.2.4.2. Les modèles qualitatives :**

Les modèles qualitative Permettent d'abstraire le comportement de procédé avec un certain degré d'abstraction à travers les modèles non plus Mathématiques mais des modèles de type symbolique contrairement au modèles de type numérique ; les modèles qualitatives ne présentent pas la physique du système , mais il décrivent en terme de mode du fonctionnement . Des devers modèles de présentation qualitative, des systèmes continus , discrets et hybrides on les utilise dans le cadre du diagnostic . Parmi ces méthodes : [21]

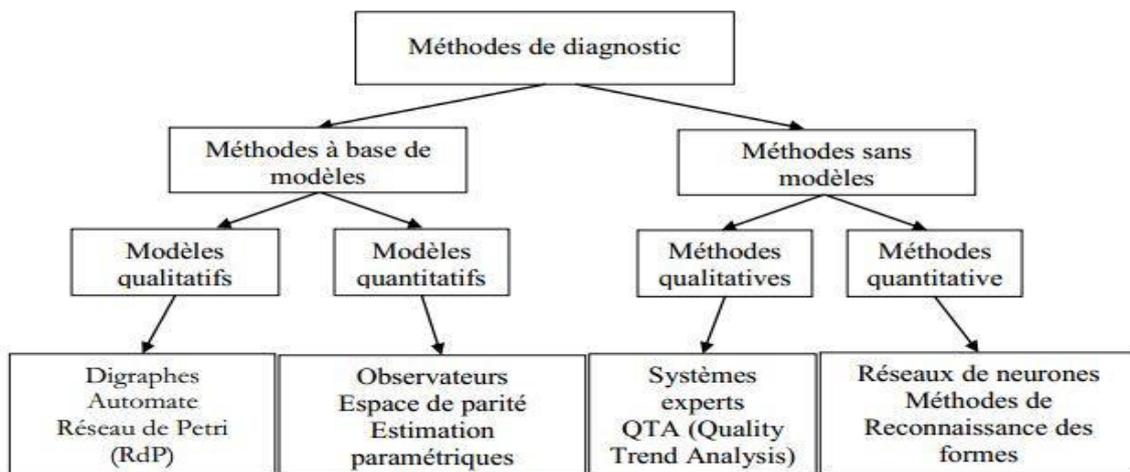
- Les graphs causaux (systèmes continus).
- Des automates d'état fini (systèmes discrets ).
- Des réseaux de pétri (systèmes discrets ).

**IV.2.4.3 Les modèles qualitatives et quantitatives :**

Représente ,d'une part ,sur une évaluation quantitative pour la détection d'un défaut, Et d'autre part sur une analyse qualitatives des transitoires pour la localisation Et l'identification.

Ces méthodes ont l'avantage de combiner les points forts des méthodes a base de modèles quantitatifs et à base de modèles qualitativs.

Voici la figure suivantes présente les classification des modèles qualitatives et quantitatives :

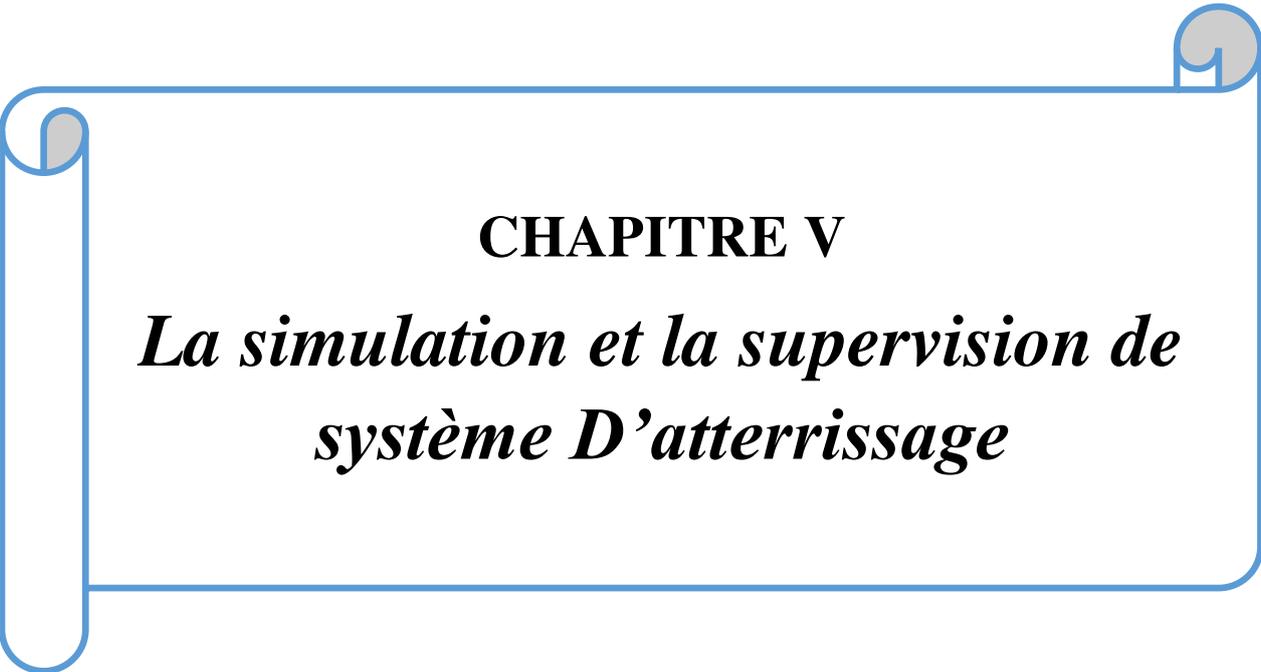


**Figure IV.5 :** Classification méthodes quantitatives/qualitatives .

### **IV.3 Conclusion :**

Parmi les méthodes présentées précédemment aucune d'elle n'est parfaite et utilisation dépend énormément des connaissances qui sont disponibles sur le procédé. Les méthodes de surveillances à base de modèles reposent essentiellement sur la cohérence entre les valeurs émises par les capteurs et les valeurs calculées par le modèle de référence, ces modèles de références sont généralement fournis par le constructeur du procédé, et à l'absence de ces modèles cette approche devienne inexploitable.

Les méthodes qui reposent sur l'intelligence artificielle contournent le problème de disponibilité de modèles de références, telles que, elles nécessitent pas beaucoup de connaissances sur le procédé, elles se basent sur l'apprentissage du comportement du système, donc on peut dire que ces méthodes sont efficaces devant des procédés très complexes, dont les modèles ne sont pas précis, toute fois, elles dépendent énormément de la phase d'apprentissage du système, cependant, si cette phase d'apprentissage ne reflète pas bien le comportement du système, alors la surveillance sera aussi affectée.



## CHAPITRE V

### *La simulation et la supervision de système D'atterrissage*

### V.1. Introduction:

La supervision est définie comme étant la surveillance, le diagnostic et la décision c.-à-d. elle consiste à gérer et à surveiller l'exécution d'une opération ou d'un travail accompli par l'homme ou par une machine puis proposer des actions correctives si besoin.

La supervision continue des systèmes industriels est nécessaire pour assurer des conditions d'opération pour lesquelles les algorithmes de commande sont efficaces.

Lorsque la fonction de la surveillance est réalisée par un opérateur humain, viennent s'ajouter un problème du choix des méthodes et architecteur de cette fonction, des concepts liés à l'ergonomie des systèmes développés. Il est apparu entre autre, que les défauts qui s'installent lentement sous forme de dérives car on peut mettre un certain temps à voir leur effet apparaître clairement. Donc on va appliquer cette Méthode (La supervision) sur notre modèle de système d'atterrissage de l'avion BOMBARDIER DASH\_8 Q-400 par le MATLAB.

### V.2. Modélisation et simulation du Système :

#### V.2.1 .Les système freinage :

En pratique, un modèle du freinage de L'Avion qui renferme toutes les caractéristiques précédentes est trop compliqué quant à son utilisation dans un système de contrôle de design. La figure suivante présente tous les paramètres utilisés au model du freinage :

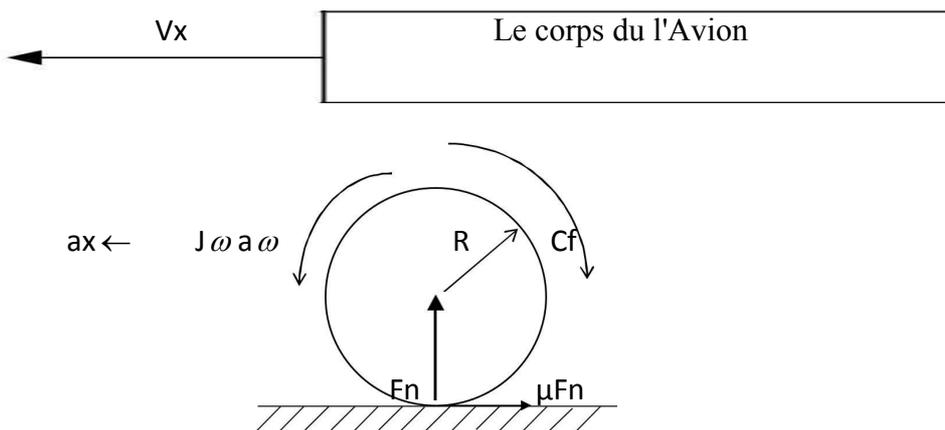


Figure.V.1: paramètres du freinage

Avec:

$a_x$  : L'accélération linéaire de l'Avion.

$v_x$ : La vitesse linéaire de l'Avion.

$J_\omega$  : Le moment d'inertie de la Roue.

$a_\omega$  : L'accélération angulaire de la Roue.

$R$ : Le rayon de la Roue.

$C_f$  : Couple du freinage.

$F_n$  : réaction du sol sur l'Avion.

$M$  : La masse de l'Avion.

D'après la Loi fondamentale de la Dynamique (Loi du NEWTON):

$$\text{On a: } \sum F_{ext} = M a_x. \quad (V.1)$$

$$\text{Donc: } -\mu \cdot F_n = M \cdot a_x \rightarrow M \frac{dv_x}{dt} = -\mu \cdot F_n \quad (V.2)$$

La somme des moments au centre de la Roue :

$$\text{On a: } \sum C_{ext} = J_\omega \cdot a_\omega. \quad (V.3)$$

$$\text{Donc: } J_\omega \cdot a_\omega = \mu \cdot R \cdot F_n - C_f \rightarrow J_\omega \cdot \dot{\omega} = \mu \cdot R \cdot F_n - C_f. \quad (V.4)$$

On a le taux de glissements est défini par :

$$g = \frac{v_x - \omega \cdot R}{v_x} \quad (V.5)$$

On dérivant par rapport au temps (t) :

$$\dot{g} = \frac{a_x(1-g) - \dot{\omega} \cdot R}{v_x}. \quad (V.6)$$

Représentation de l'espace État de l'équation ci-dessus est présenté ci-dessous. L'état des systèmes variables sont:

$g$  : Taux de glissement.

$\mu$ : Coefficient de frottement.

$X_1$ : Distance d'arrêt.

$X_2 = v_x$  = vitesse de l'Avion.

$X_3 = g$  = Taux de glissement.

Les variables sont :

$$X_1 = X_2$$

$$X_2 = ax = \frac{-\mu \cdot Fn}{M} \quad (V.7)$$

$$X_3 = \frac{-\mu \cdot Fn}{X_2} \left( \frac{1-X_3}{M} + \frac{R^2}{J\omega} \right) + \frac{R}{J\omega} C_f \quad (V.8)$$

Le model de coefficient du frottement est donné en fonction de la vitesse linéaire et le glissement dans la relation suivante : [22]

$$\mu(g, Vx) = [c_1 (1 - e^{-c_2 g}) c_3] e^{-c_4 Vx} \quad (V.9)$$

Avec:

C1 : est la valeur maximal de la courbe de frottement.

C2 : est une coefficient de frottement .

C3 : la courbe de frottement de la différence entre la de valeur maximale et la valeur à  $\lambda = 1$

C4 : est la valeur caractéristique d'humidité. Il se trouve dans la gamme de 0,02 0.04s / m.

Voici le tableau suivant présent les coefficients C1 , C2, C3 dans tous les états de la Route:  
[23]

	C1	C2	C3
Asphalte sec	1.2801	23.99	0.52
Asphalte mouillé	0.857	33.82	0.347
Béton sec	1.1973	25.168	0.5373
Grenaille sec	1.3713	6.4565	0.6691
Grenaille mouillé	0.4004	33.708	0.1204
Neige	0.1946	94.129	0.0646
Glace	0.05	306.39	0

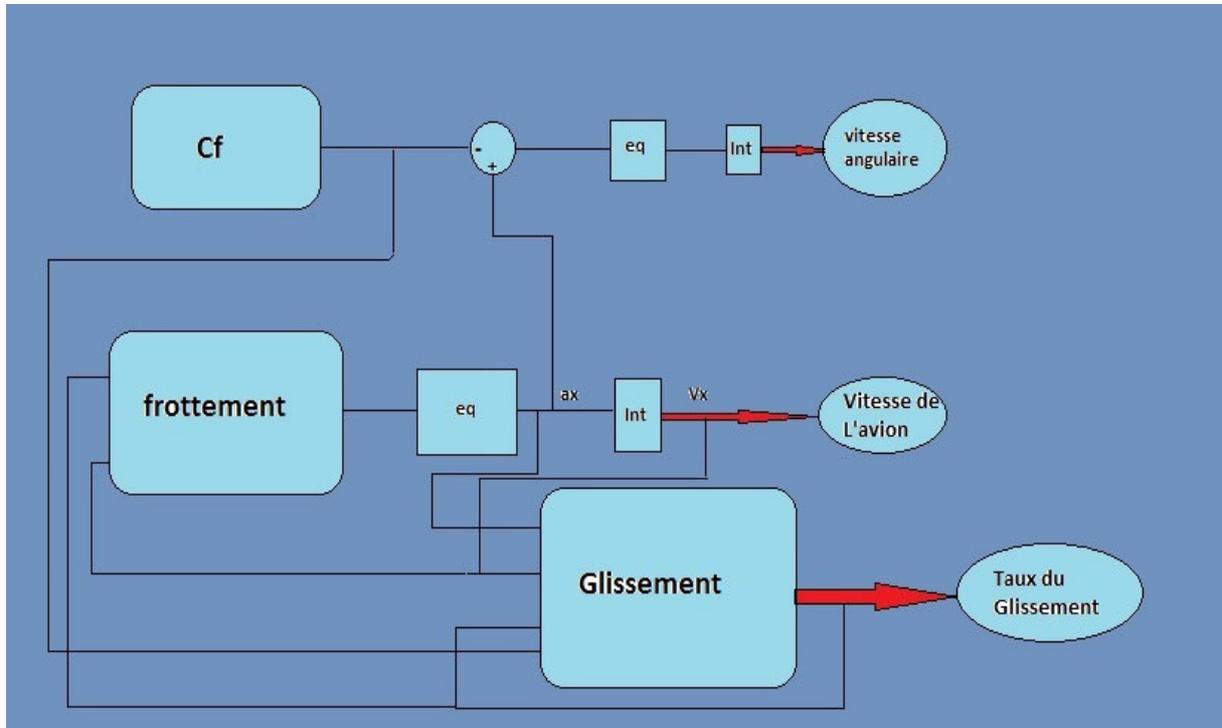
**Tableau 02:** Les coefficients du frottement en fonction de l'état de la route.

Dans notre cas du freinage de L'Avion Dash8 Q-400 on prend le premier cas de la route (Asphalte sec) comme si dans la piste de l'aéroport.

Le coefficient de frottement effectif entre le pneu et la route possède une valeur optimale à valeur particulière du taux de glissement de la roue g. Cette valeur diffère selon le type de route.

**V.2.2. Model simulink du sous-système d'atterrissage :**

**V.2.2.1.Schéma Block du freinage :**

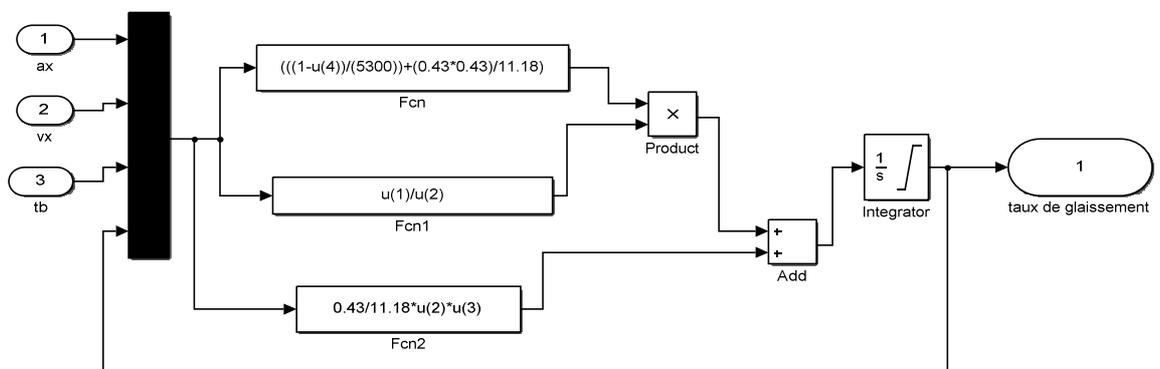


**Figure.V.2 : Schéma block du Freinage**

**Création des sous-programmes :**

➤ **Block du glissement:**

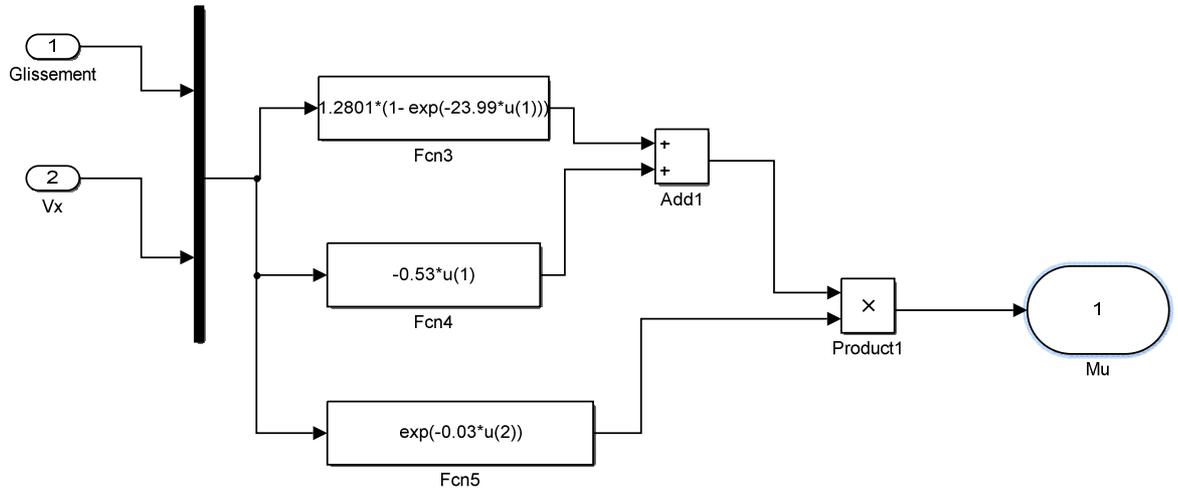
Voilà le model simulink de taux de glissement "g" à partir de l'équation (V.8) dans la figure suivante :



**Figure.V.3 : Sous-programme Simulink de taux de glissement.**

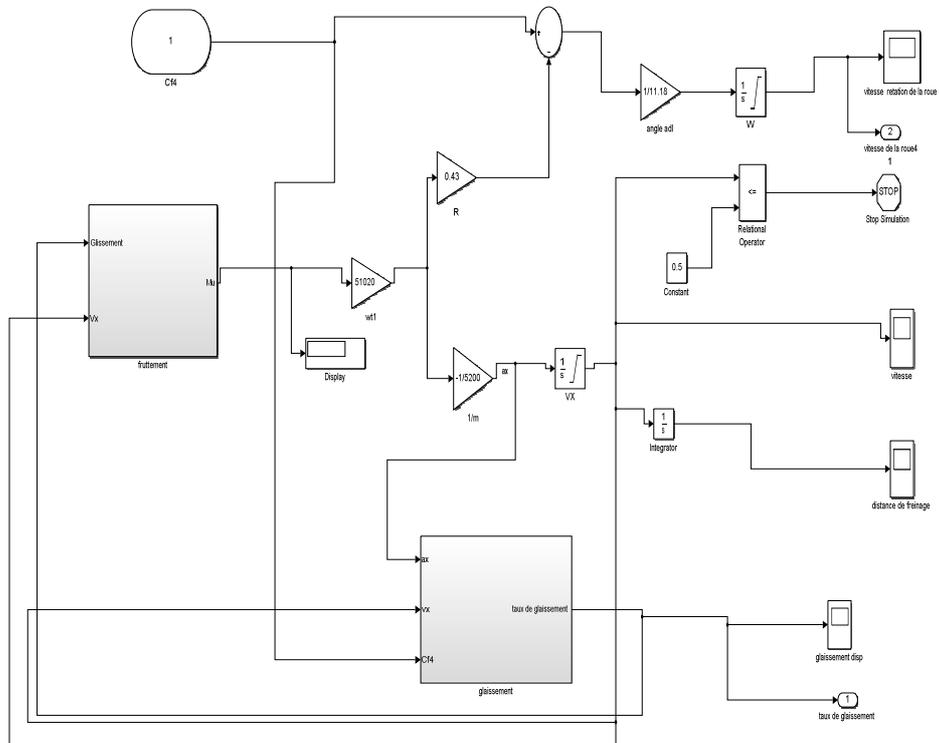
➤ **Block du frottement:**

Voici le model simulink de coefficient du Frottement " $\mu$ " a partir de l'équation (V.9) dans la figure suivante :



**Figure.V.4 :** Sous-programme Simulink de coefficient de frottement

En fait la combinaison des sous-programmes et la modélisation de équation restante (V.4) dans le modèle Simulink, nous obtenons un modèle Simulink complet du l'Avion au cours de freinage classique (sans contrôleur) en ligne droite que le montre la figure suivante :



**Figure.V.5 :** Modélisation du système freinage Classique

### V.2.2.2. Simulation du block Hydraulique :

Le circuit hydraulique de Train d'atterrissage est très simple tel qu'il est composé d'un réservoir , une pompe hydraulique qui doit générer une pression entre 2500 et 3000 **Psi** ,une soupape de réduction de pression et les électrovannes pour la commande au freinage et l'anti dérapant .

Cette fois nous faisons la simulation du circuit hydraulique par le Simscape. Ce dernier est représenté dans la figure suivante :

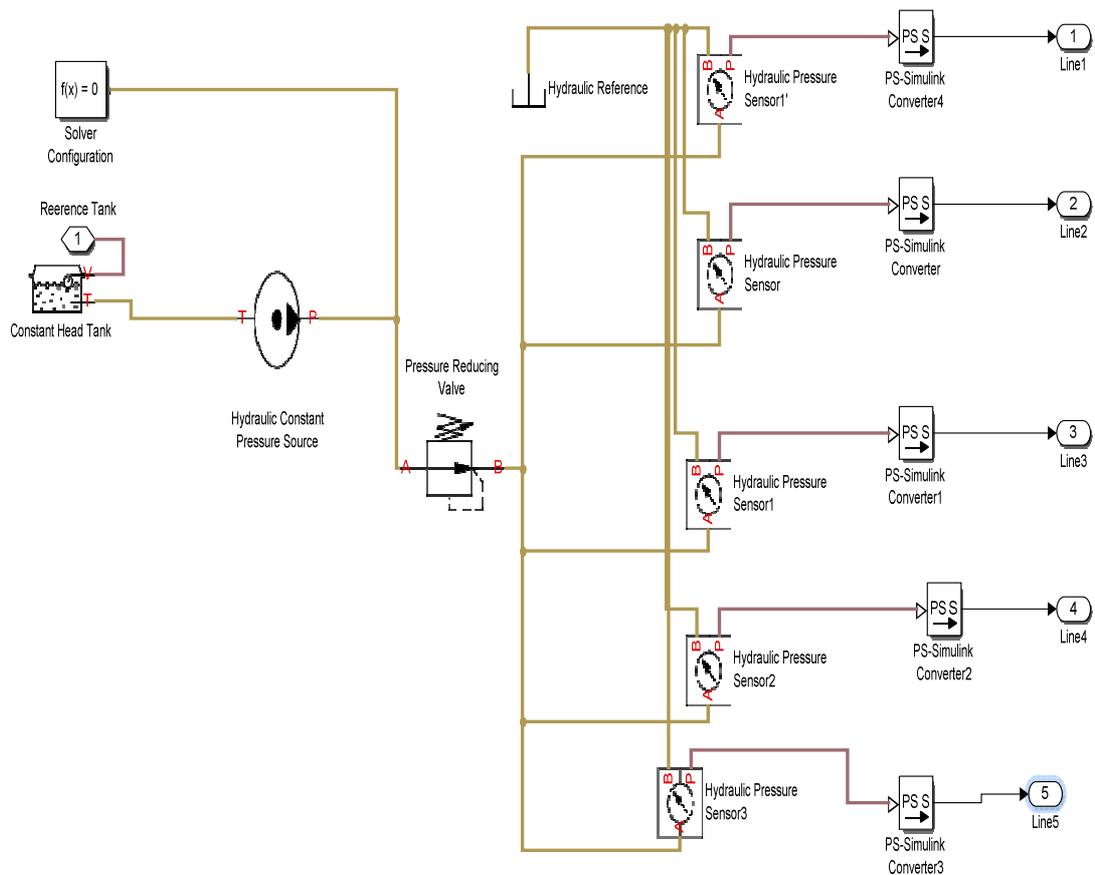


Figure.V. 6:block simscape du circuit hydraulique

**V.2.2.3 Simulation de l'anti dérapant (anti Skid):**

Ce système est une combinaison entre les éléments du freinage est les électrovannes qui sont commandées par un calculateur (PSEU) tel que ce système aide a la stabilité du l'avion au cour du freinage.

Son principe est simple , il combine entre la vitesse angulaire des deux roues symétriques par rapport au centre du l'avion , si la vitesse angulaire de la roue (1) supérieur a laquelle de la roue (2) , l'anti dérapant bloque le freinage de la roue (2) , jusqu'il atteint la condition :

$$" \omega_1 = \omega_2 "$$

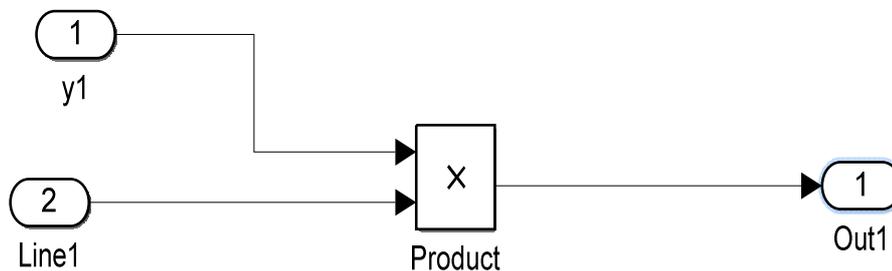
avec:

$\omega_1$  = La vitesse angulaire de la roue1.

$\omega_2$  = La vitesse angulaire de la roue2.

Voici les blocks simulink du système anti dérapant :

➤ **block des électrovannes (unité de commande) :**



**Figure.V.7:** block simulink d'électrovanne

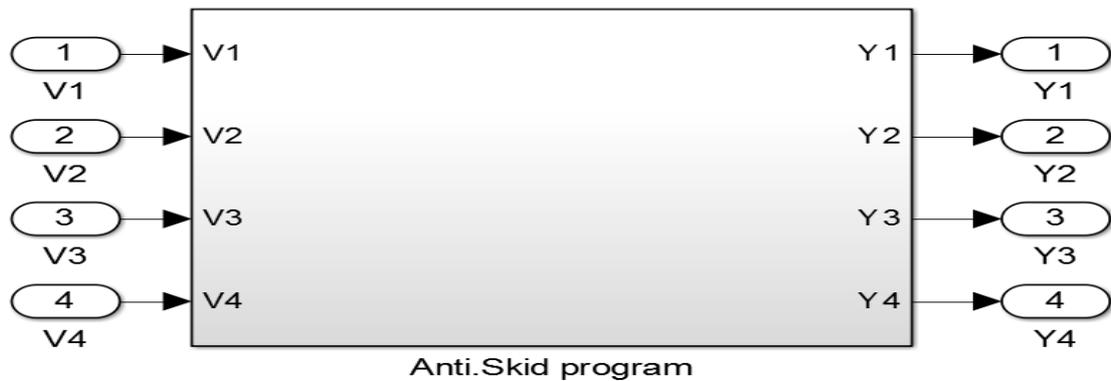
**Telle que :**

y1: est la commande d'électrovanne (consigne de Calculateur).

Line1: est la line hydraulique de premier block du freinage.

➤ **Block simulink de PSEU:**

- Block simulink d'anti dérapant :



**Figure.v.8:** block simulink de anti-dérapant

➤ **Programme de fonctionnement d'anti dérapant :**

```
function [y1,y4] = fcn(v1,v4)
y1=0;
y4=0;
if ((v1-v4)==0)
    y1=1;
    y4=1;
elseif (v1>v4)
    y1=1;
    y4=0;
elseif (v1<v4)
    y1=0;
    y4=1;
end

function [y2, y3]= fcn(v2, v3)
y2=0;
y3=0;
if ((v2-v3)==0)
    y2=1;
    y3=1;
elseif (v2>v3)
    y2=1;
    y3=0;
elseif (v2<v3)
    y2=0;
    y3=1;
end
```

**Figure.V.9 :** programme anti dérapant

- Block simulink de l'ABS:



**Figure.V.10:** block simulink de l'ABS

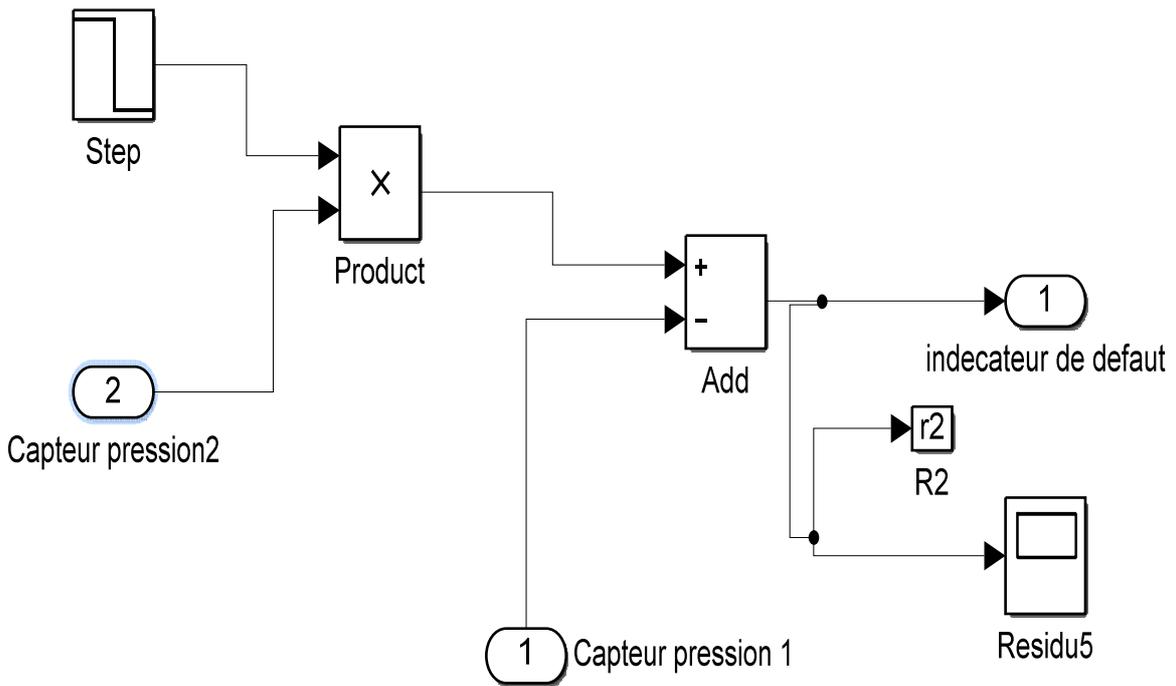
**V.3. Diagnostic et supervision du système :**

Notre diagnostic est à base du modèle du fonctionnement, donc on prend les méthodes les plus courantes dans l'industriel qui sont " Méthode de Redondance physique " et "La Méthode de l'approche par espace de parité ( Redondance Analytique statique et Dynamique " comme outils du diagnostic et supervision de ce système .

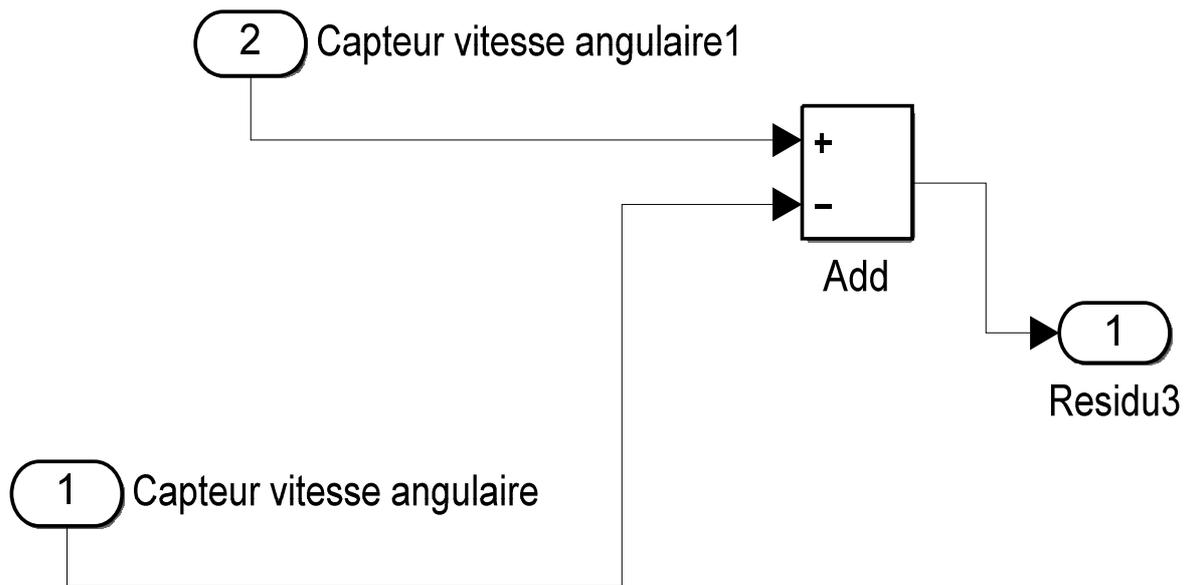
**V.3.1. Modèle simulink des Blocks de diagnostic par redondance Physique :**

Son principe est simple telle que on va doubler le capteur de chaque mesurant comme si dans notre cas, on a doublé les capteurs de pression après la pompe et après les électrovannes, aussi les capteurs de vitesse angulaire de la roue et les capteurs de vitesse linéaire du l'avion,

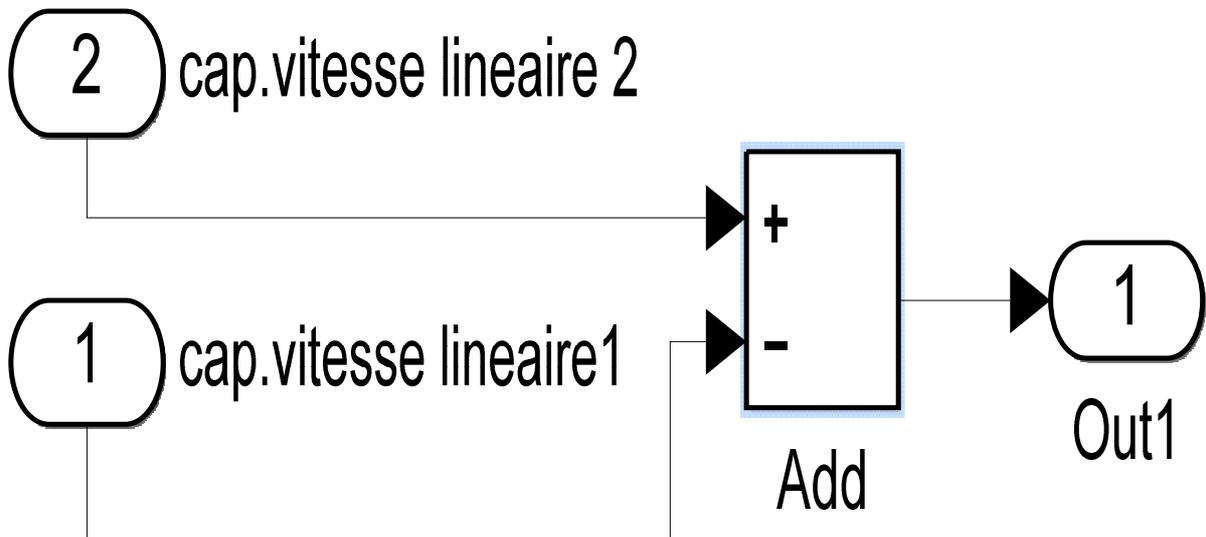
Voici les figures suivantes indiquent les blocks simulink de diagnostic par redondance physique.



**Figure.v.12:** résidu indicateur les défauts au borne de la pompe et électrovannes



**Figure.V.14:** résidu indicateur les défauts de la vitesse angulaire de la roue



**Figure.V.15:** résidu indicateur les défauts de la vitesse linéaire du l'avion.

**V.3.2. Block simulink de la diagnostique analytique dynamique:**

Le principe c'est d'atteindre la condition suivante au cas de bon fonctionnement du système:

Pour la relation " somme des Couple extérieures doit être égale a zéro" comme suite :

$$J \ddot{\alpha} - C.F.f - C.f = 0. \tag{V.10}$$

avec:

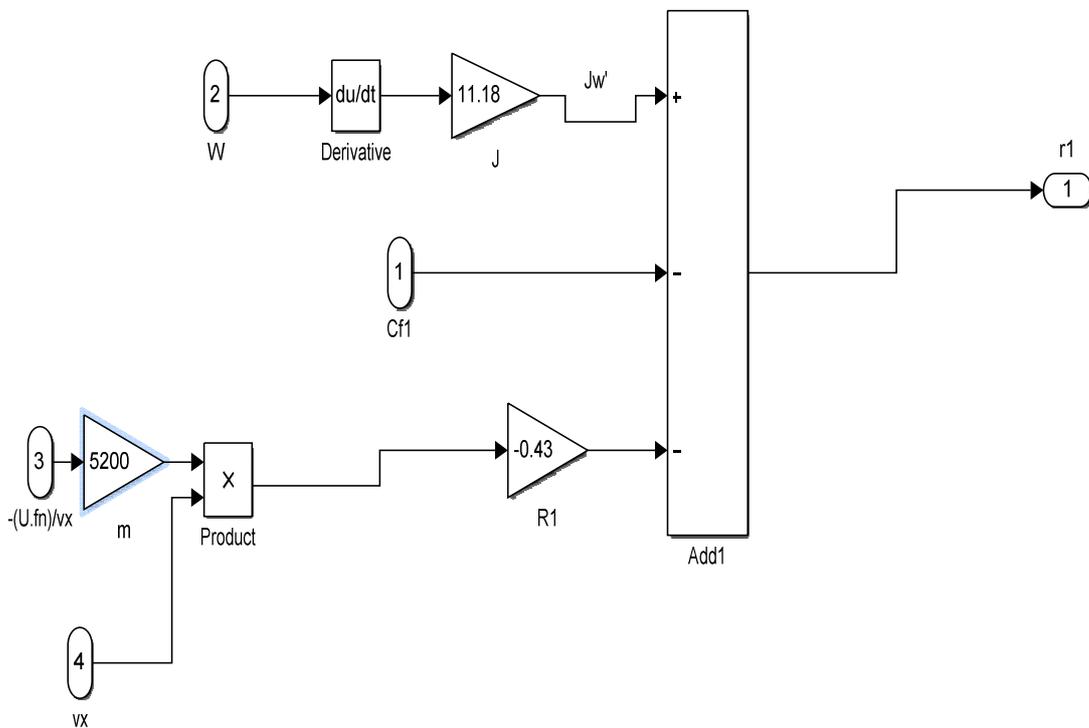
$J$  : Le moment d'inertie.

$\ddot{\alpha}$  : L'accélération angulaire.

$C.F.f$  : Couple force de frottement.

$C.f$  : Couple du freinage.

Si on a pas atteint cette condition (équation différente du zéro) , implique qu'il y a des défauts dans ce système . La figure suivante indique le block simulink de diagnostic par redondance analytique dynamique (espace de parité ).



**Figure.V.16** : Le résidu de block de diagnostique Analytique.

**V.4.0. Résultats et commentaire :**

**V.4.1. Les paramètre de la simulation :**

Voici les paramètres et valeurs à prendre pour pour faire lancer la simulation :

$J\omega$  : 11.13 kg.m<sup>2</sup>.

R: 0.43 m.

Cf : 2600 N.m.

Fn : 51020 N.

Mp : 5200 kg.

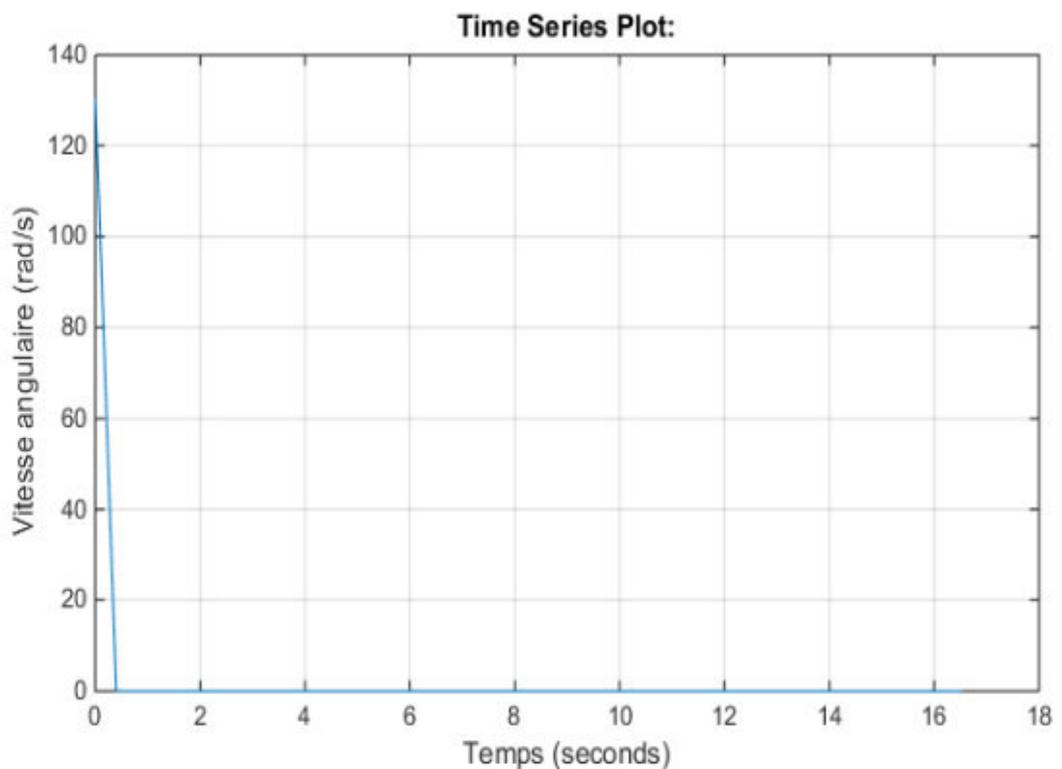
**Les valeurs initiales :**

Vx: 56m/s = 200 km/h.

$\omega$  :  $V_x/R = 130$  Rad/s.

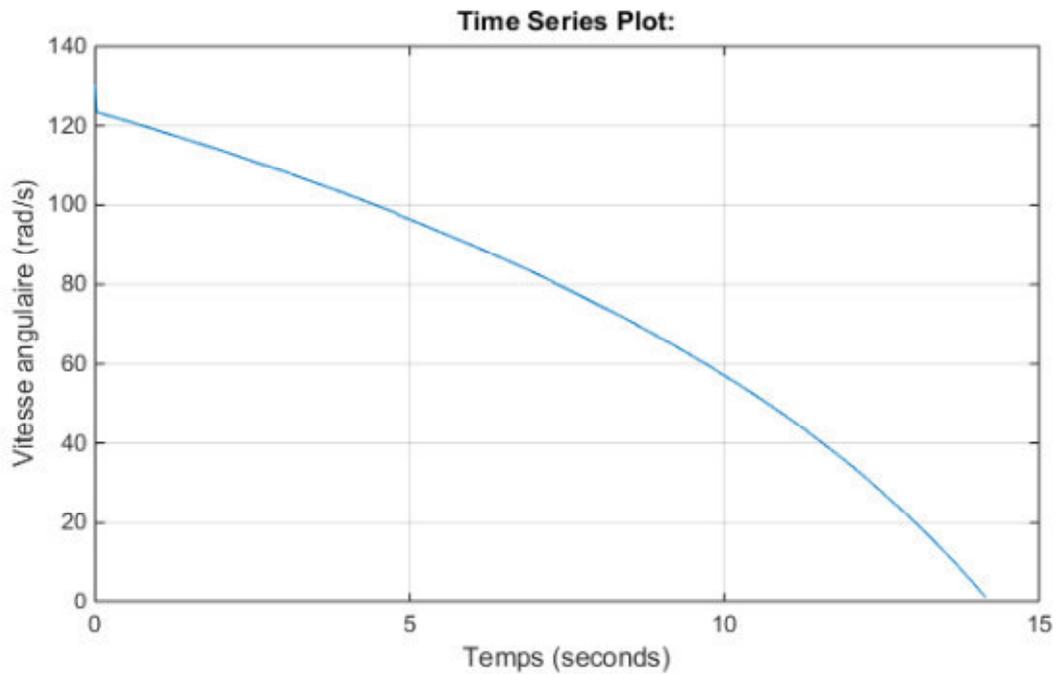
**V.4.2. Comparaison entre résultats du freinage classique et ABS :**

- **Vitesse angulaire de la roue sans ABS :**



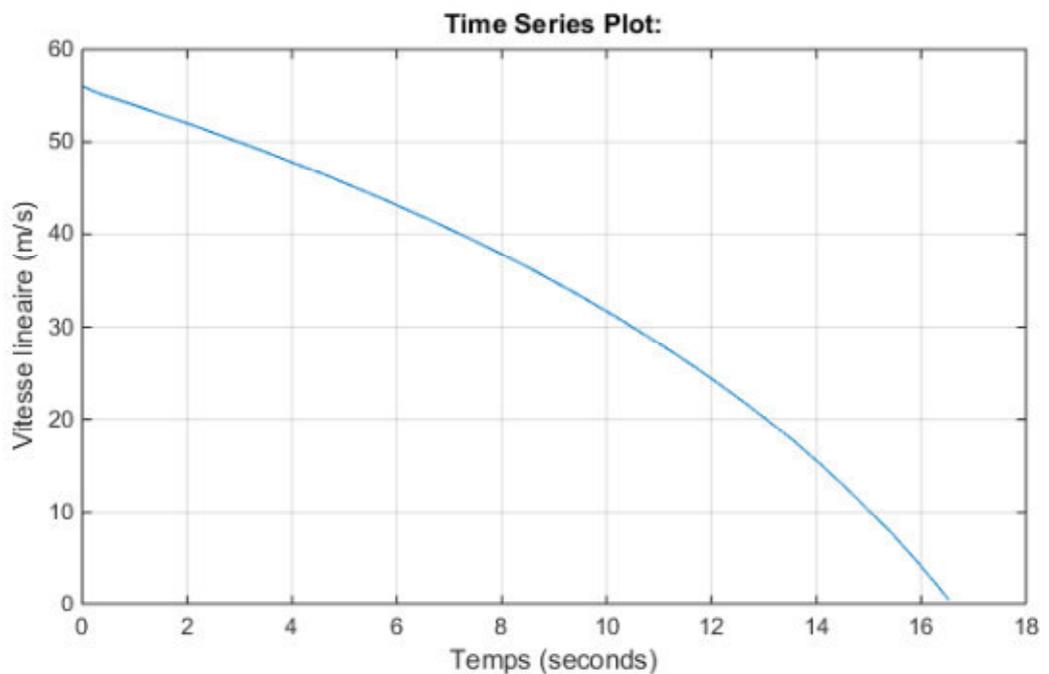
**Figure.V.17** : Vitesse angulaire de la roue sans.

- **Vitesse angulaire de la roue avec freinage ABS :**



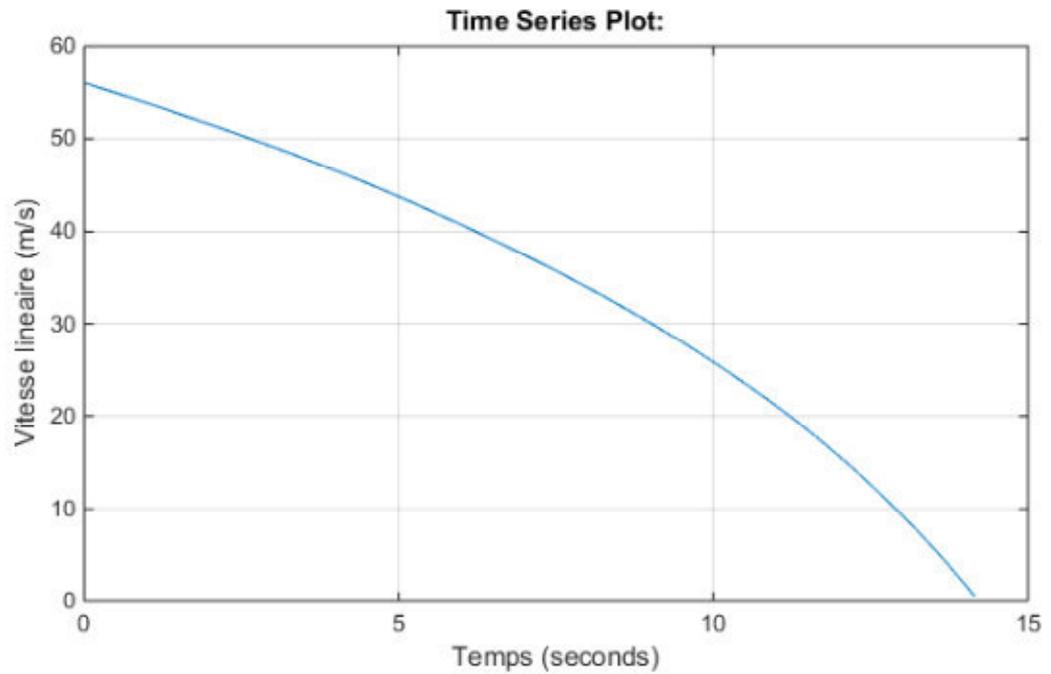
**Figure.V.18:** Vitesse angulaire de la roue avec freinage ABS

- On remarque que l'ABS a minimisé le temps du freinage de la roue.
- **Vitesse linéaire de l'Avion sans ABS :**



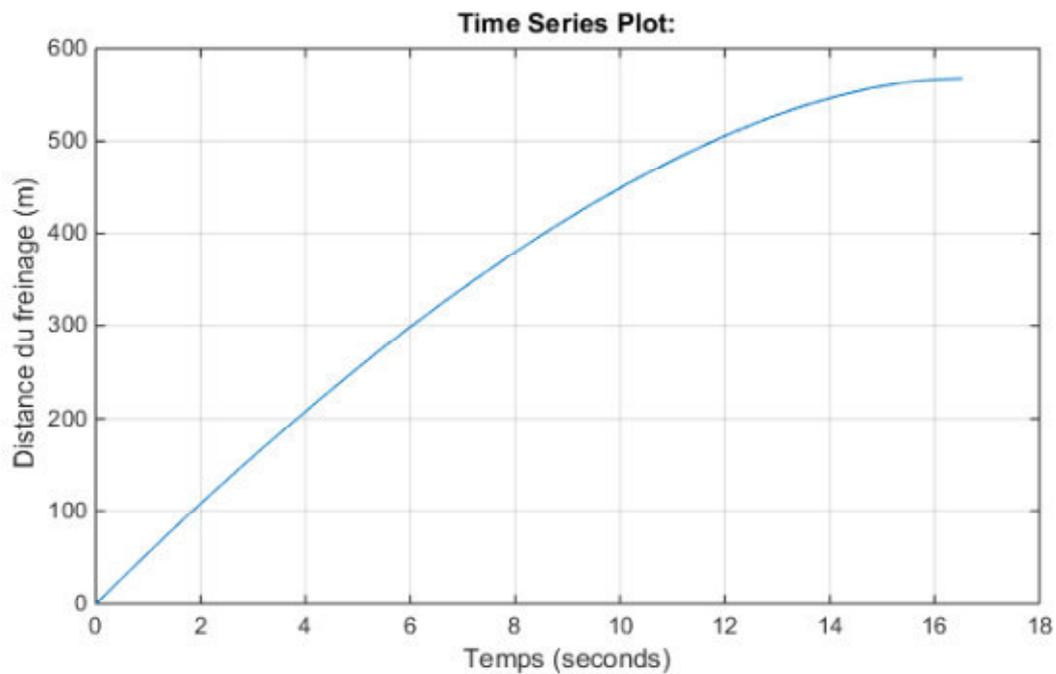
**Figure.V.19 :** Vitesse linéaire du l'Avion au cour de freinage.

- **Vitesse linéaire de l'Avion avec freinage ABS :**



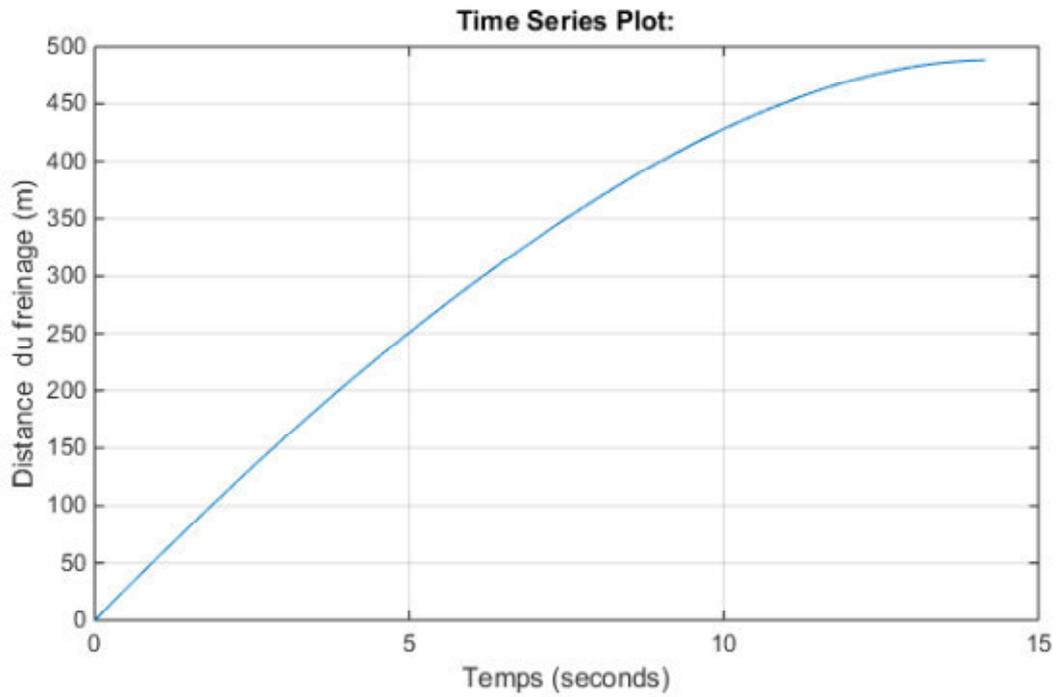
**Figure.V.20 : Le taux de glissement de la roue**

- On remarque que l'ABS a minimisé le temps du freinage de l'Avion.
- **Distance du Freinage de l'Avion sans ABS :**



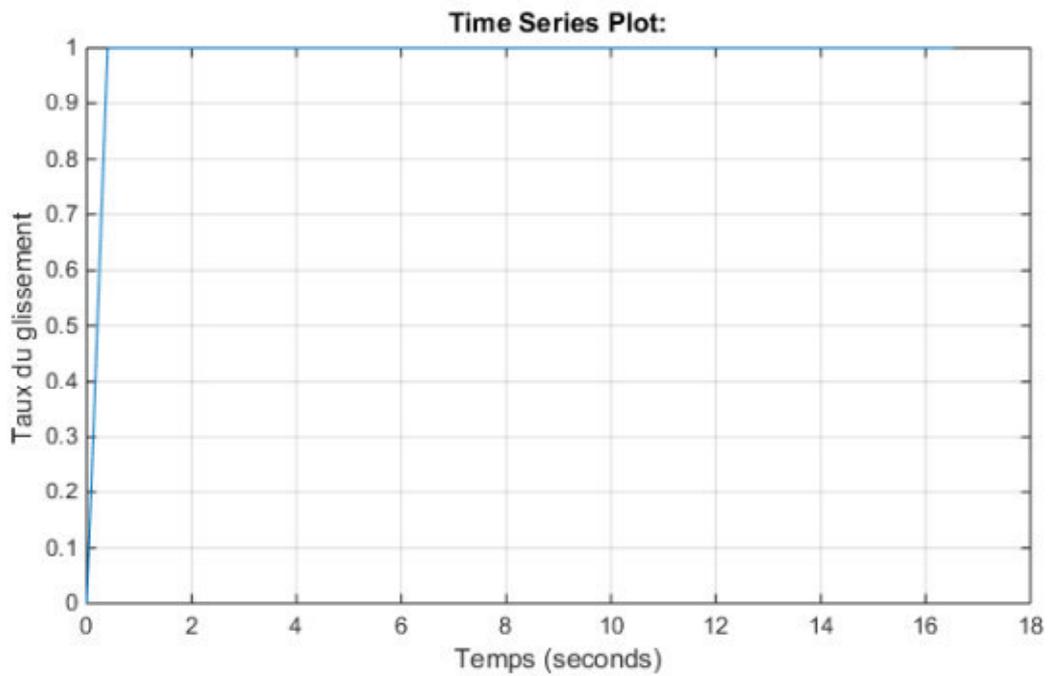
**Figure.V.21 : Distance du freinage sans ABS.**

- **Distance du Freinage de l'Avion Avec ABS :**



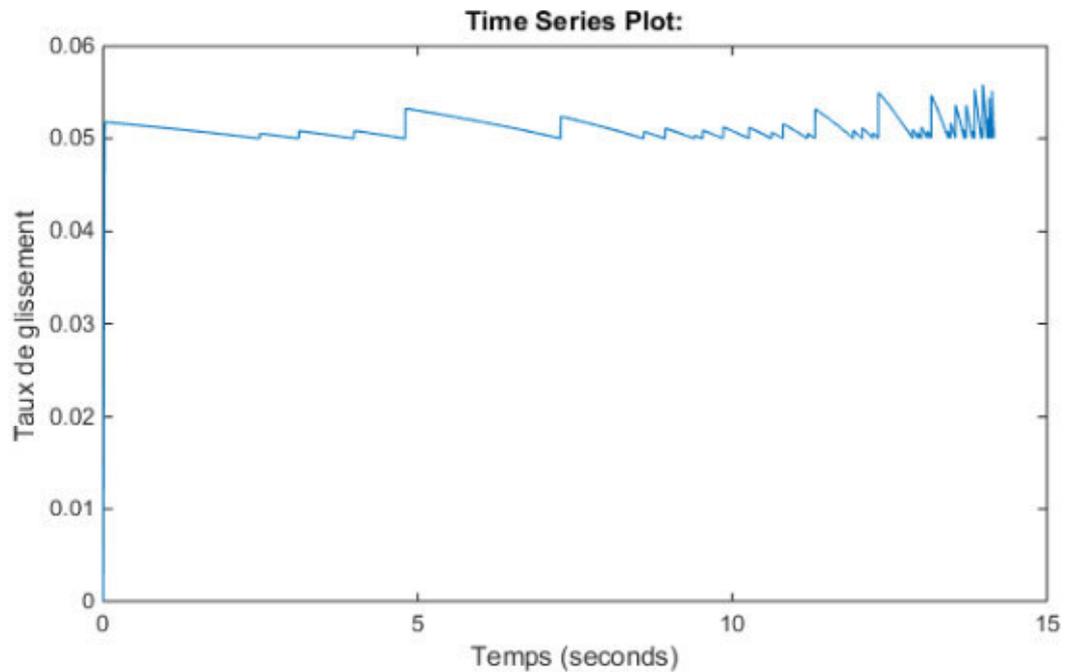
**Figure.V.22:** Distance du freinage avecABS.

- **Le taux du glissement de la roue :**



**Figure.V.23 :** Taux de glissement au freinage sans ABS .

- Le taux glissement en freinage avec ABS :



**Figure.V.24** : taux de glissement avec (ABS).

➤ **Remarques :**

- On remarque que L'ABS améliore l'opération du freinage telle que :  
L'Avion avant utiliser L'ABS est freiné en (580m) dans (16.3s) alors qu'avec l'ABS la distance du freinage sera (490 m) dans (14 s).
- On remarque aussi que le taux de glissement est limité. contrairement au freinage sans ABS, le taux de glissement est maximal.

### V.4.2. Les Résultats De l'anti dérapant (anti-skid) :

Pour obtenir les résultats du l'anti dérapant on va appliquer des charge différentes au niveau des Roues telle que cette différence sa va créer une déstabilisation du l'avion au cour de freinage, alors que anti dérapant va la stabiliser.

Les figures suivantes présentent le travail du l'anti skid au cour de déstabilisation du l'Avion:

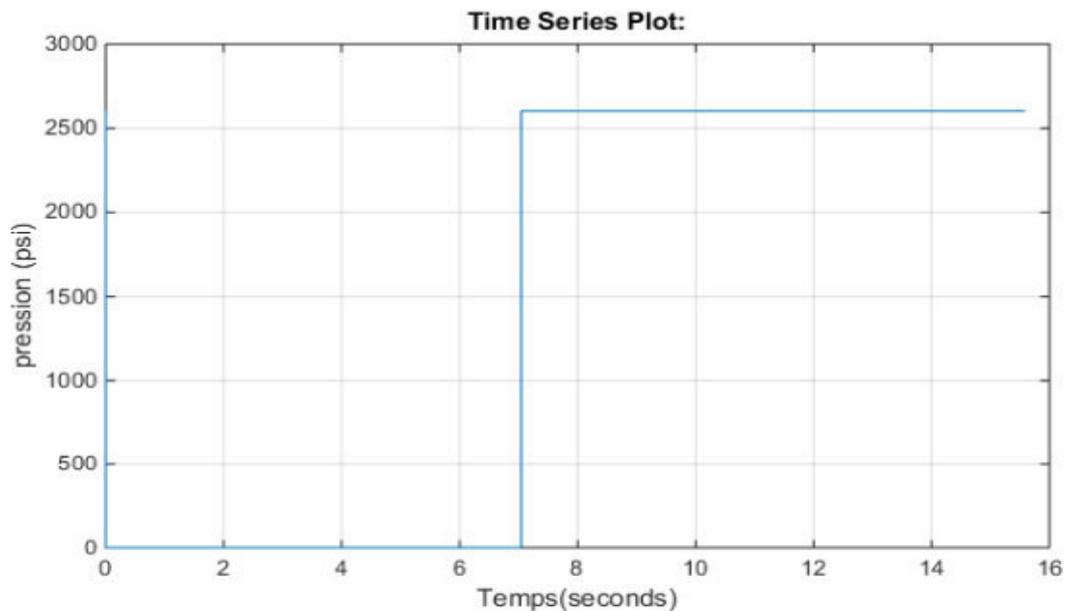


Figure.V.25 : Le freinage de la roue (2).

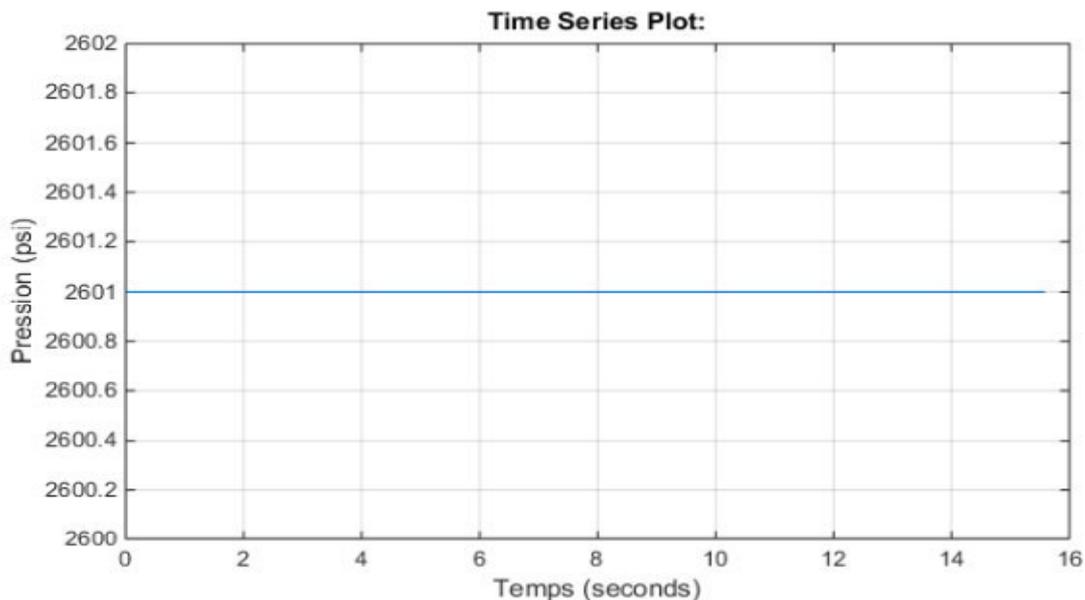


Figure.V.26 : Le freinage de la roue (3)

➤ **Remarques:**

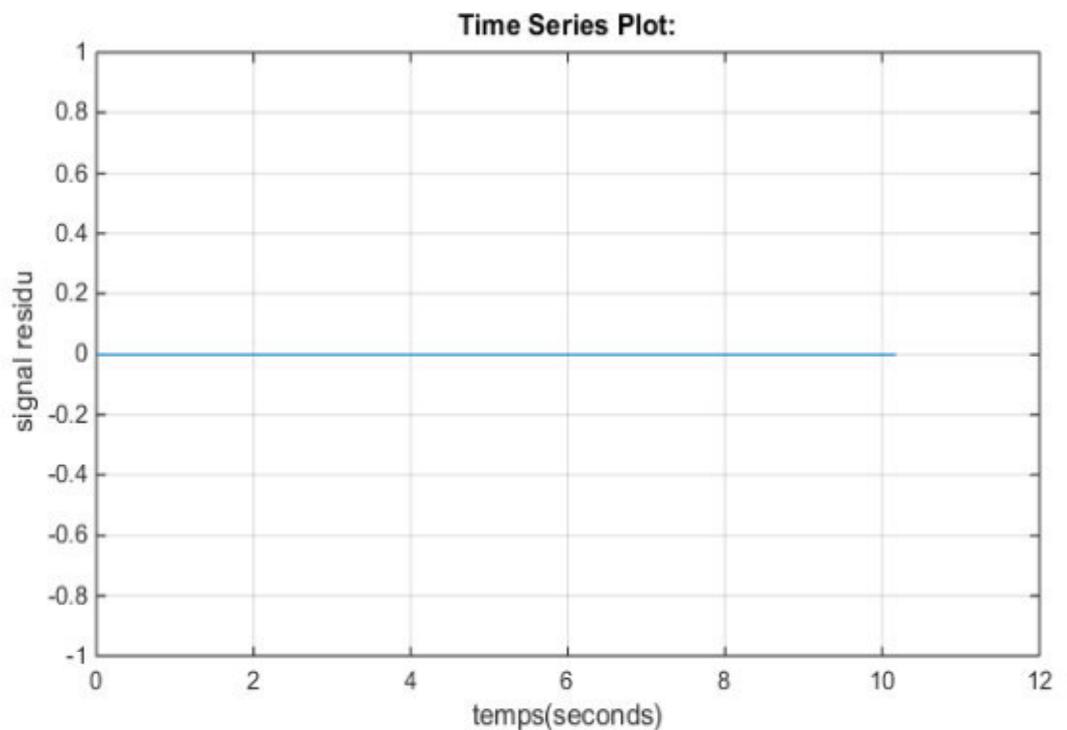
On remarque que l'anti dérapant a bloqué l'opération du freinage de la Roue (2) jusqu'à que la vitesse angulaire de la de la roue (3) sera égale à la vitesse de la Roue(2).

### V.4.3. Les Résultats du diagnostic et la supervision :

- **Exemple de diagnostic par Redondance Physique :**

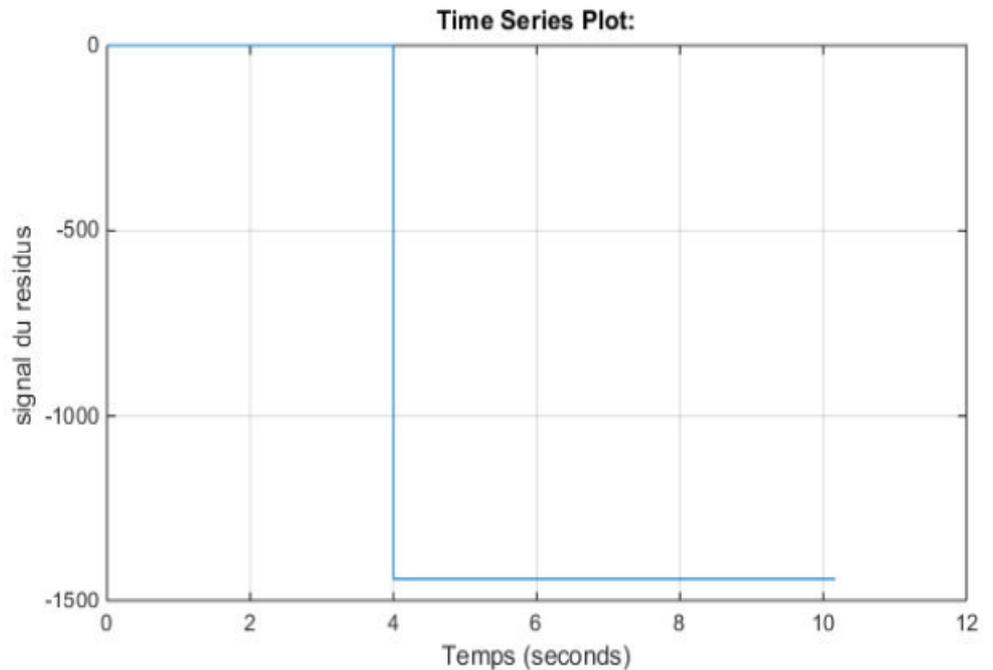
La figure suivante présente la redondance physique appliquée sur les capteurs de pression après la pompe et après les électrovannes :

❖ **Dans le cas normal (sans défauts) :**



**Figure.V.27:** résidu généré Redondance physique à double capteur(sans défaut )

❖ Dans le cas Défaillance ou dégradation d'un bien (avec défauts) :



**Figure.V.28:** résidu généré Redondance physique à double capteur en cas de défaut

➤ **Remarque :**

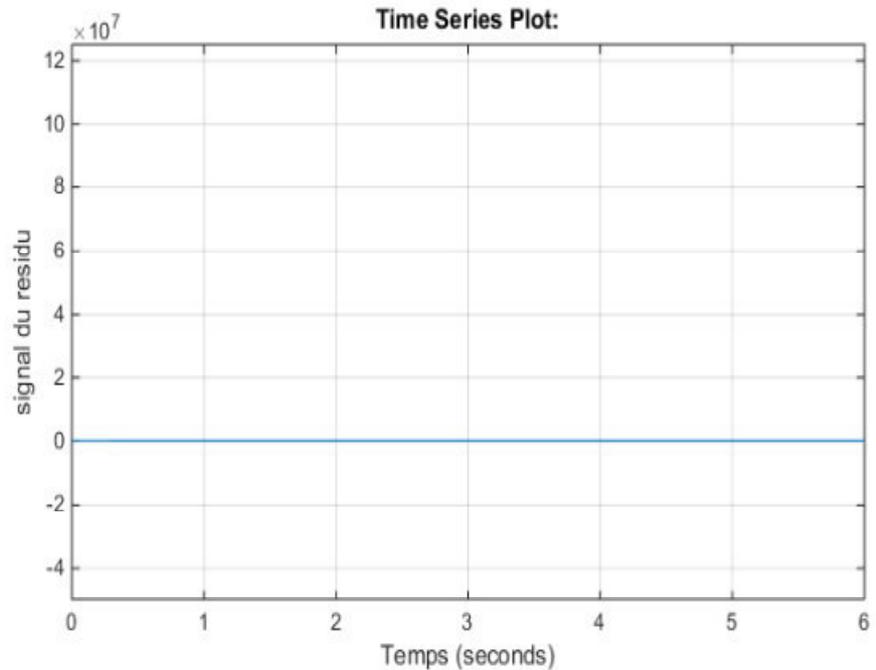
- On remarque que le cas où il y'a pas les défauts, les signaux des résidus sont nulles.
- Alors que dans le cas de défaut on trouve que l'un des deux capteurs sorti de la valeur de seuil, le signal de résidu est non nulle, à partir de 4 eme seconde ce qu'indique que ce capteur est en état de défaillance ou dégradation.
- On remarque que cette méthode de diagnostic nous permet facilement d'isoler les défauts, telle qu'on peut séparer ou classer les défauts de capteurs et les défauts de système.

- **Exemple de diagnostic par Redondance Analytique :**

Le but c'est d'atteindre la condition suivante :

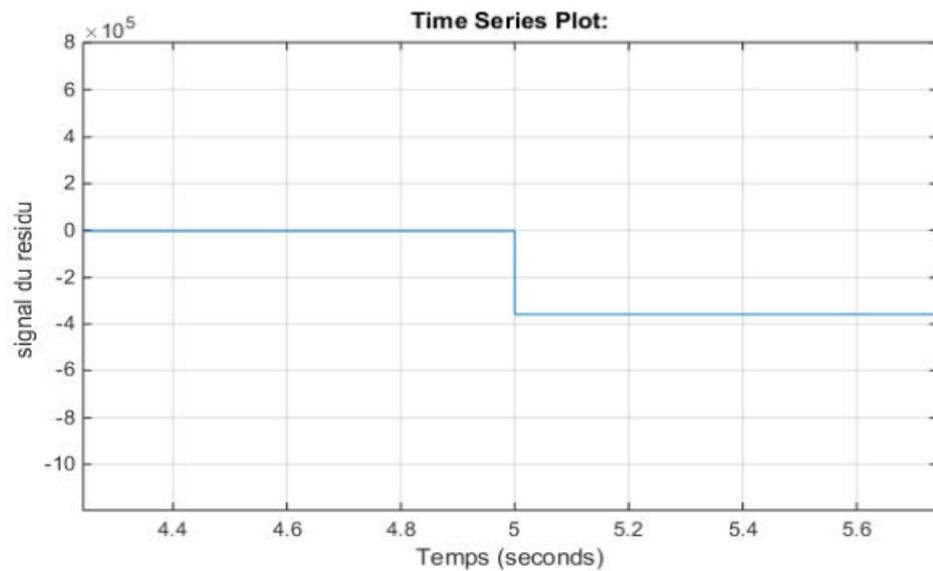
$$\sum C_{ext} = 0 \quad (V.10)$$

- ❖ **Dans le cas normal (sans défauts) :**



**Figure.V.29 :** résidu généré par redondance analytique dans un cas normal

- ❖ **Dans le cas Défaillance ou dégradation d'un bien (avec défauts) :**



**Figure.V30 :** résidu généré par redondance analytique au cas de défaillance.

➤ **Remarque :**

- On remarque que le résidu est variable en fonction des paramètres du système.
- On peut considérer tous les signaux égaux à zéro ou presque à zéro comme des indicateurs de l'état normal (le bon fonctionnement).
- On peut considérer que tous les signaux différents strictement à zéro comme des défauts ou bien dégradation d'un bien.

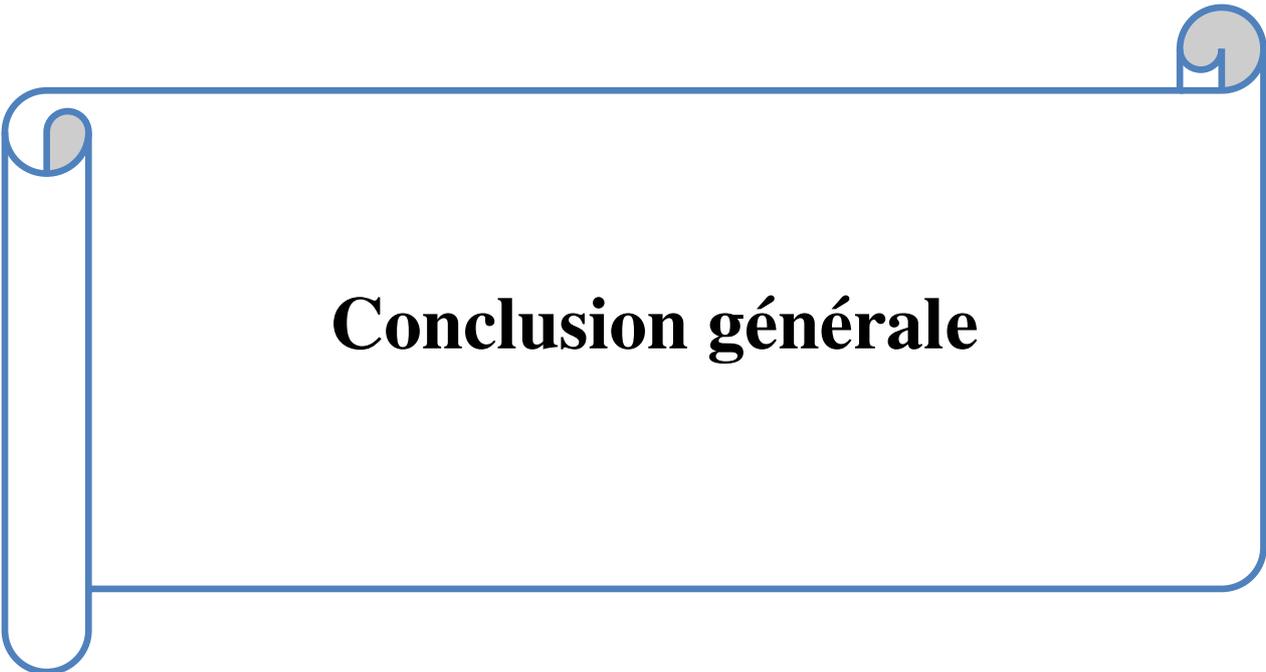
### **V.5. Conclusion :**

Grace a Matlab on a réussi de modéliser notre système de fonctionnement, à partir des équations de système et les schémas de fonctionnement, avec des très bons résultats dans les différents cas possible de simulation.

A base de ce modèle, on a appliqué des méthodes de diagnostic et surveillance pour mettre notre système en état d'observation instantanée ce qu'on appelle "un système de Supervision".

Ce système de supervision nous permet de :

- Détection des pannes dans une période très négligeable.
- Localisation et l'interprétation de ces pannes.
- l'Identification des causes de ces pannes.
- Proposition des résolutions et aide à la décision.



**Conclusion générale**

## *Conclusion générale*

---

Les travaux présentés dans notre mémoire ont tenté d'apporter une contribution à la problématique générale de la supervision des systèmes de fonctionnement.

En raison de la complexité des installations industrielles, la sécurité devient une partie indissociable de la commande, en effet dans les installations complexes telles que les centrales nucléaires et chimiques, l'aviation, les pannes et les risques d'explosions ne sont pas écartés, la maintenance est l'étape finale de la supervision, c'est-à-dire, elle n'intervient qu'après avoir détecté un défaut et l'avoir jugé anormale dans le bon fonctionnement.

La supervision dans les systèmes de fonctionnement, est très efficace et très utilisée dans les milieux à hauts risques tels que les centrales nucléaires et chimiques, les réseaux électriques, à grâce à sa possibilité de contrôler et de superviser des installations à partir d'un poste de pilotage qui se trouve à des milliers de kilomètres, en effet cette technique utilise l'internet pour la transmission des signaux, cette technique est réalisée avec un logiciel sur lequel on développe une interface graphique de notre installation et à partir de laquelle on peut superviser et contrôler les paramètres de l'installation, comme dans notre cas on a appliqué la supervision dans le modèle Simulink de notre système de fonctionnement (système d'atterrissage de l'Avion Dash\_8 Q-400).

Dans notre mémoire on a basé notre supervision sur des méthodes de diagnostic basée sur modèle mathématique, c'est l'espace du parité, cette méthode nous permet de détecter tous les défauts au niveau de systèmes grâce aux signaux générés par les capteurs installés dans les différentes parts de ce système.

Après on a doublé les capteurs aux points importants du système au but de augmenter la sécurité, surtout temps que a dans le demain d'aviation, et pour faciliter l'isolation et classification des défauts.

Le but de cette supervision est de atteindre des niveaux très élevés de la sécurité humains et matériels, ainsi que la qualité et la quantité de la production et l'optimisation des coûts de la maintenance, donc sa maîtrise est un trésor.

## *Bibliographie*

---

- [1] **Archive de la compagnie " Tassili Airlines "** / Histoire Tassili Airlines. Le 25/03/2018
- [2] <http://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8316&context=theses>
- [3] **Archive de la compagnie " Tassili Airlines "** / bibliothèque de la direction technique. Le 30/03/2018.
- [4] <https://commercialaircraft.bombardier.com/fr/q400/technologie.html>
- [5] <https://commercialaircraft.bombardier.com/en/q400/Environment.html>.
- [6] **Manuel de système d'atterrissage** (landing gear) du l'avion Bombardier Dash\_8 q-400 // bibliothèque de la direction technique.
- [7] **Manuel de système hydraulique** du l'avion Bombardier Dash\_8 q-400 // bibliothèque de la direction technique.
- [8] **Manuel de système freinage** (breaking system) du l'avion Bombardier Dash\_8 q-400 // bibliothèque de la direction technique.
- [9] **Carlos Daniel GARCIA-BELTRAN**, « Outils Pour L'aide A La Supervision De Procédés Dans Une Architecture Multi agent », thèse doctorat, Laboratoire d'Automatique de Grenoble 2004.
- [10] **Frédéric BUSSON**, « les bond graphes multi énergies pour la Modélisation et la surveillance en génie des Procèdes » thèse doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2002.
- [11] **Nassim EL OSTA** « surveillabilité structurelle et platitude pour le diagnostic des modèles bond graphe couplés » thèse doctorat, Ecole Centrale de Lille, 2005.
- [12] **Claudia VICTORIA ISAZA NARVAEZ**, « Diagnostic par techniques d'apprentissage floues : conception D'une méthode de validation et d'optimisation des partitions », thèse doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2007.
- [13] **Rim MR ANI ALAOUI**, « conception d'un module de diagnostic a base des suites de bandes temporelles en vue de la supervision des procédés

## *Bibliographie*

---

énergétique ». Application en ligne à un générateur de vapeur, thèse doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2004.

[14] **Sylvain PIECHOWIAK** «Intelligence artificielle diagnostic», Technique de l'ingénieur, S 7 217, 2000.

[16] **Gilles Zwingenstein**, « Diagnostic des défaillances, théorie et pratique pour les systèmes industriels » édition Hermès, pages 55-13, 1995 .

[17] **Claudia VICTORIA ISAZA NARVAEZ**, « Diagnostic par techniques d'apprentissage floues : conception d'une méthode de validation et d'optimisation des partitions », thèse doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2007.

[18] **Rim MRANI ALAOUI**, « conception d'un module de diagnostic à base de suites de bandes temporelles en vue de la supervision des procédés énergétiques ». Application en ligne à un générateur de vapeur, thèse doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2004.

[19] **Daniel RACOCEANU** « Contribution à la surveillance des Systèmes de Production en utilisant les Techniques de l'Intelligence Artificielle », Thèse d'habilitation, Université de FRANCHE-COMTÉ de Besançon, 2006.

[20] **V. COCQUEMPOT** « Contribution à la surveillance des Systèmes industriels complexes » Université de Lille , 2004

[21] **H.DERBEL** « diagnostic à base de modèle des systèmes temporisés , est une sous-classe des systèmes Dynamiques hybrides » , thèse de doctorat de Université de Grenoble I et l'Université de Tunisie ,2009

[22] **A. B. Sharkawy** , «Genetic fuzzy self-tuning PID controllers for antilock braking systems », Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 23, pp. 1041–1052, 2010.

[23] **O'keefe, P. J.**, «Tandem antilock system for air braked vehicles », SAE Technical Paper 770662, 1977.

## *Résumé*

La supervision est définie comme étant la surveillance, le diagnostic et la décision c.-à-d elle consiste à gérer et à surveiller l'exécution d'une opération ou d'un travail accompli par l'homme ou par une machine puis proposer des résolutions , ou des actions correctives si besoin.

La supervision continue des systèmes industriels est nécessaire pour assurer des conditions d'opération pour lesquelles les algorithmes de commande sont efficaces.

Alors on a étudié dans ce mémoire de master le diagnostic et la supervision sur le système d'atterrissage du l'Avion "Bombardier DASH\_8 Q-400" , telle que on va modéliser ce système puis le simuler avec le logiciel " Matlab " .

Puis à partir de se modèle Simulink on a basé notre système de supervision par la méthode de redondance physique et analytique .

En fin on a interprété les résultats de simulation et la supervision les différents cas possibles .

## *Abstract*

Supervision is defined as monitoring, diagnosis and decision making, it consists in managing and monitoring the execution of an operation or a work done by the man or by a machine and then proposing resolutions, or corrective actions if necessary.

Continuous supervision of industrial systems is necessary to ensure operating conditions for which control algorithms are effective.

So we studied in this master thesis the diagnosis and supervision on the landing system of the aircraft "Bombardier DASH\_8 Q-400", as we will model this system and simulate it with the software " Matlab".

Then from Simulink model we based our supervision system by the method of physical and analytical redundancy.

In the end we interpreted the simulation results and the supervision of the various possible cases.