

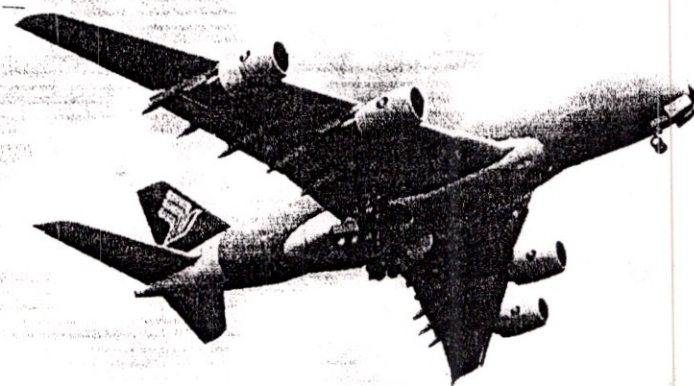
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Facultés des sciences de l'ingénieur

Universités de blida

département d'Aéronautique



Mémoire de fin d'Etudes  
pour l'obtention du D.E.U.A. en Aéronautique  
option structure

**Thème :**  
**Etude d'escriptive d'1 avion (type A330-200) et  
lutte anticorrosive sur la structure**

Promoteur :  
M. ALLALI A.  
Co-Promoteur :  
M LARBI f.

Réalisé par :  
M. MERRAD Farouk  
Melle TOUATI Hanane

Année 2006

---

# Remerciements

*Au terme de ce travail nous tenons à  
exprimer nos remerciements à :*

- . Nos Professeurs;*
- . Nos parents;*
- . Nos familles;*
- . Tous ceux qui nous ont aidé  
de loin ou de près.*

**Farouk et Hanane**

---



### *Résumé :*

La corrosion apparaît toujours comme un mal invivable aux métaux et aux alliages ; elle engendre des divers dommages dégradant le potentiel de vie et la fiabilité des structures.

Le balayage de cet événement à une grande importance avant sa formation qui menace la sécurité dans différents secteurs aéronautiques; par des actions préventives et systématiques.

Dans notre projet de fin d'étude ; nous hiérarchisons les différents concepts de corrosion et les facteurs accélérants, montrant aussi les actions anticorrosives sur l'exemple avion A330-200.

### *Abstract :*

Corrosion always seems an intolerable evil with metals and the alloy; it generates various damages degrading the potential of life and the reliability of the structures.

The removal of this event have a great importance before its formation which threatens safety in various transport airs; by preventive and systematic actions.

In our project; we treat on a hierarchical basis the various concepts of corrosion and the accelerating factors, will show also the anti-corrosive actions on the example plane A330-200.

## تلخيص

المبدأ يظهر دائما كمهدد للمعادن لأنه يولد خسائر مختلفة تؤثر على حياة المعادن وبنيته. لمعالجة الظاهرة باستعمال طرق الوقاية، عندها أهمية كبيرة قبل تكونها لكي لا تؤثر على نسبة الحماية مثلا في ميدان الطيران. في هذه الأطروحة، درسنا مختلف أسباب الصدى أو المعاملات المسببة لها من جهة ومن جهة أخرى المضادات للصدأ على سبيل المثال في الطائرة A330-200.

## SOMMAIR

### Introduction

Historique 01

### Chapitre I

I.1. Dimensions du airbus A330 – 200	04
I.2. LE FUSELAGE :	07
I.2.1. Analyse d'un fuselage :	07
I.2.2. La partie centrale du fuselage :	09
I.2.3. Partie Arrière du fuselage :	09
I.2.4. Cône arrière du fuselage :	09
I.3. Les portes :	12
I.3.1. Généralités :	12
I.3.2. Localisation :	12
I.4. Les ailes	15
I.4.1. Généralité	15
I.4.2. Types et formes de l'aile :	15
I.4.3. L'architecture de l'aile :	15
I.5. L'empennage :	21
I.5.1. généralité	21
I.6. Train d'atterrissage :	22
I.6.1. Généralité :	22
I.7. Circuit carburant :	24
I.7.1. Généralités :	24
I.8. Circuits hydrauliques :	26
I.8.1. généralité	26
I.8.2. Repérage des circuits :	26
I.9. Les moteurs :	28
I.9.1. Généralité :	28

### Chapitre II

II.1. Définitions	30
II.2. Processus de la corrosion	30
II.3. Type de corrosion	30
II.3.1. corrosion uniforme ou généralisée	30
II.3.2. Corrosion galvanique	31
II.3.3. Corrosion par crevasse	32
II.3.4. Corrosion par piqûres	33
II.3.5. Corrosion inter granulaire	34
II.3.6. Corrosion sous contrainte	36
II.3.7. Corrosion sous fatigue	38
II.3.8. corrosion sélective	39
II.3.9. Corrosion érosion	39
II.3.10. Corrosion de contact	41
II.3.11. Corrosion par l'hydrogène	42



<b>II.4. Les corrosions localisées</b>	<b>46</b>
<b>II.4.1. Corrosion caverneuse</b>	<b>46</b>
<b>II.4.2. Corrosion sous tension</b>	<b>47</b>
<b>II.5. Aperçu sur la corrosion de l'aluminium</b>	<b>48</b>
<b>II.6. Techniques expérimentales</b>	<b>50</b>
<b>II.6.1. Suivi du potentiel d'abandon en fonction du temps</b>	<b>50</b>
<b>II.6.2. Courbes de polarisation</b>	<b>50</b>
<b>II.6.3. La corrosion atmosphérique</b>	<b>51</b>
<b>Chapitre III</b>	
<b>III.1 protection contre la corrosion</b>	<b>56</b>
<b>III.1.1 Généralités</b>	<b>56</b>
<b>III.1.2 Causes de la corrosion</b>	<b>56</b>
<b>III.1.3 Types de corrosion</b>	<b>58</b>
<b>III.1.4 Localisation de la corrosion</b>	<b>66</b>
<b>III.1.5 inspection de la corrosion</b>	<b>68</b>
<b>III.1.6 Enlèvement de la corrosion :</b>	<b>68</b>
<b>III.1.6.1 Généralités</b>	<b>68</b>
<b>III.1.7 Types des procédures de protection contre la corrosion :</b>	<b>69</b>
<b>Conclusion</b>	

## *Introduction :*

α La corrosion apparaît depuis toujours comme un mal mystérieux, associant un milieu, ou l'un de ces composants à un métal et aux diverses formes des dommages, d'où une abondante et ancienne nomenclature traditionnelle, s'appuyant sur l'un de ces trois aspects, corrosion par, corrosion de et corrosion comment.

-corrosion par l'air, l'eau de mer ou l'oxygène, par l'atmosphère ou les sols, par les aciers, les bases ou les sels, par les bactéries ou les moisissures, ou encore par tous les gentils ou méchants milieux :

-corrosion du fer, des aciers ou des fontes, du cuivre, des bronzes, ou des laitons.

-corrosion uniforme, caverneuse, par piqueurs, fissurant etc.

γ les dommages engendré touchent la résistance de la structure de l'avion et son opérationnalité, cette étude nous permettra d'avoir un point de vue détaillé sur la corrosion et l'anticorrosion en prenant comme exemple l'avions A330-200.

Pour cela nous avons élaborer et suivi le plan de travail suivant :

**Chapitre I :** généralité sur l'A330-200.

**Chapitre II :** théorie de la corrosion.

**Chapitre III :** étude anticorrosive appliquée sur la structure.

## Historique :

### Airbus A330-200 :

- x L'A330-200 est le plus petit membre de la famille gros porteur long courrier A330/A340 d'Airbus. C'est aussi celui qui rencontre le plus de succès auprès des compagnies grâce entre autre à son imposant rayon d'action.
- x L'A330-200 est pour le moment l'unique dérivé de l'A330-300. Il fut lancé en Novembre 1995 sur un simple constat : les compagnies aériennes demandent toujours plus d'autonomie pour des coûts de maintenance toujours plus faible/Dans ce contexte, l'intérêt pour les biréacteurs par rapport aux quadriréacteurs ou aux triréacteurs s'en trouve augmenté: l'achat, la maintenance et le remplacement de deux moteurs revenant évidemment moins cher que pour trois ou quatre moteurs. Avec l'arrivée des biréacteurs gros porteurs (Airbus A300 et Boeing 767) faisant preuve d'une fiabilité exceptionnelle et équipés de moteurs possédant une grande réserve de puissance en cas de panne, des vols ETOPS furent autorisés à partir de 1985. Ces vols permettent à des biréacteurs de s'affranchir partiellement de la règle des "90 minutes" qui leur interdit de s'éloigner à plus de 90 minutes de vol avec un moteur en panne d'un aérodrome de déroutement.

Comme son habitude, Airbus appliqua sur le A330-200 le principe de communauté qui fut et fait toujours son succès. En effet, l'A330 et l'A340 sont pratiquement identiques jusque dans les moindres détails (les seules différences étant de légères modifications de l'aile et du système de carburant). Cette communauté réduit les coûts de conception et de production mais offre aussi aux compagnies aériennes le moyen de faire de sérieuses économies en diminuant le temps de formation des pilotes et du personnel de maintenance. Des économies peuvent aussi être réalisées en rationalisant les stocks de rechange et d'outillage. Enfin, les transporteurs peuvent profiter d'une flexibilité exemplaire, les équipages pouvant posséder une qualification multiple ou « Cross Crew Qualification ». Cette flexibilité se retrouve aussi au niveau des commandes. Bien qu'elle soit ici assez limitée en raison du nombre différents de moteurs, des changements de commandes peuvent être facilement effectués: ainsi, en 2000 une commande de 2 A330 a été modifiée en A340.

Toutefois, la communauté ne s'arrête pas là. Non seulement les A330/A340 sont pratiquement identiques entre eux mais ils présentent de nombreux points communs avec le reste de la gamme Airbus (la famille A320 et le futur très gros porteur A380). Ainsi le cockpit entièrement numérisé a été "décalqué" sur celui de l'A320. On y retrouve le mini manche latéral caractéristique des Airbus, mais aussi les six écrans couleurs intégrés EFIS, ainsi que la disposition des autres instruments. Le temps de formation des pilotes qui ont déjà une expérience sur un avion de la famille A320 s'en trouve alors réduit à 8 jours soit une réduction pouvant atteindre une vingtaine de jours sur une formation "normale" : un argument de plus lors de négociations de contrats...



Le fuselage de l'A330-200 reprend le diamètre de son aîné A300. En effet, ses dimensions généreuses (50,51 mètres) permettent un plus grand confort aux passagers mais c'est surtout l'emport

possible de deux conteneurs de type LD3 de front qui rend ce fuselage populaire auprès des compagnies. Par rapport à l'A330-300, il a été réduit de dix cadres ramenant sa longueur à 60,304 mètres. L'empennage horizontal et vertical a par contre dû être agrandi pour compenser la diminution de longueur du fuselage augmentant la hauteur de l'avion de plus d'un mètre, pour atteindre 17,9m. La voilure conserve les 60,3 mètres d'envergure initiaux et la surface a l'aire de 363,1 m<sup>2</sup>. L'A330-200 reprend également les ailes renforcées du quadriréacteur à masse accrue A340-300E ainsi que son réservoir central. Cet échange d'organes a permis de diminuer considérablement les coûts du développement. Ces modifications ont d'ailleurs été adoptées sur le 330-300 afin d'offrir une version à masse accrue encore plus attrayante. En configuration trois classes l'A330-200 peut emporter 253 personnes (12 en première, 36 en affaire et 205 en économique). En deux classes, la capacité peut être portée à 293 passagers.

Au niveau de la motorisation, l'A330-200 reprend exactement les mêmes moteurs dans les mêmes versions que celles proposées sur le A330-300, c'est à dire les CF6 de **General Electric** avec les CF6-80E1A2/A3/A4, les **Pratt & Whitney** PW4000 avec les PW4164 et PW4173 ainsi que les **Rolls-Royce** Trent 768 et 772. Les poussées de ces moteurs évoluent entre 28,5 tonnes et 32,4 tonnes. La masse maximale au décollage est de 230 tonnes ce qui lui permet de franchir des distances de 11.850km mais il est aussi proposé avec une masse de 217t et une autonomie réduite à 8890km. Les performances générales de l'avion sont identiques à celles du 330-300 et d'une manière générale meilleures que celles du Boeing 767. Sa vitesse de croisière est de 860km/h et sa vitesse maximale 880 km/h.

- x Le début commercial de l'appareil fut excellent. Les ventes d'A330-200 se révélèrent excellentes. La première commande fut annoncée par le loueur géant américain ILFC dès le mois de mars 1996. Lors du vol inaugural le 13 août 1997, Airbus disposait d'un carnet fort de 85 intentions d'achat dont 49 fermes provenant de douze clients différents parmi lesquels **Korean Air**, **ILFC**, **Sabena**, **Swissair**, **Austrian**, **Sabena** et **Emirates**. Les différentes certifications de l'appareil furent achevées le 31 mars 1998 pour la version équipé de moteur **Général électrique**/Les certifications avec les PW4000 furent obtenues en mai 98. Le premier appareil, loué par ILFC, entra en service dans la compagnie **Canada 3000**.

A côté de l'A330-200 d'autres versions dérivées de l'A330-300 furent étudiées. Parmi celle-ci, une version rallongée baptisée A330-400 fit un peu parler d'elle avant de retomber dans l'oubli. Plus récemment, une version raccourcie de 19 cadres d'abord nommé A330M19, puis A330-100 et enfin A330-500 fut envisagée pour remplacer le vieillissant A300-600R mais elle fût rapidement abandonnée à cause du peu d'intérêt des compagnies : seul **Singapore Airlines** s'était manifesté.

L'agrandissement de la famille A330 passe plutôt par des versions spécialisées de l'A330-200. Ainsi, Airbus a lancé une version cargo baptisée A330-200F. Initialement prévue en juin 2001 lors du Salon de Bourget cette annonce a été différée à cause du retard prit par les études, retard aujourd'hui comblé. Cet avion compte s'attaquer directement au **Boeing 767-300ER** et le match semble tourner à la faveur de l'Airbus qui peut emporter 63 tonnes de fret sur 7800 Km contre 56 t sur 6000 Km pour le 767 précipitant le risque de fermeture de cette chaîne d'assemblage de Boeing (avenir actuellement suspendu à la décision du Pentagone sur les ravitailleurs en vol).

De plus, selon Airbus l'A330-200F est complémentaire de l'A300-600F. En effet, le 300-600F est destiné aux lignes régionales tandis que le 330-200F a plutôt une vocation de très long-courrier.

Il permet ainsi l'exploitation de lignes qui ne peuvent être actuellement desservies que par des 747 en surcapacité pour des vols quotidiens. Le premier client visé par Airbus est le géant américain du fret express UPS qui serait prêt à convertir une partie des 50 options d'A300-600F qu'il détient. L'autre géant du fret express FedEx qui dispose déjà de 80 A300-600F et A310F attire aussi l'attention des commerciaux d'Airbus.

Les intégrateurs ne sont toutefois pas les seuls clients potentiels de l'A330-200F : en effet, un certain nombre de compagnies qui sont des acteurs majeurs sur le marché du fret exploite déjà des A330-200/300. C'est notamment le cas d'Air France, de Korean Air, d'Eva Air, de Cathay Pacific, et de Northwest Airlines, mais aussi des ambitieux Emirates et de Qatar Airways déjà clients de l'A380 dans sa version fret. La communauté est aussi importante avec le reste de la gamme Airbus (surtout pour la qualification des équipages) comme le montre l'exemple de Lan Chile un des clients potentiels qui dispose de 7 A340-300 et 25 A320 en commande. L'avenir de l'A330-200F s'annonce donc radieux d'autant plus que les prévisions tablent sur un marché de 290 avions d'ici à 2019.

L'A330-200 semble aussi promis à une belle carrière militaire. Bien qu'aujourd'hui aucune version militaire de cet appareil n'existe, EADS compte bien imposer son A330-200 sur le marché des ravitailleurs en vol. Le Royaume-Uni a déjà signé un contrat avec AirTanker dirigé par Thaïes (ex Thomson-CSF) pour la fourniture d'une trentaine d'appareils. Une proposition basée sur une cellule d'A330-200 pour la fourniture d'un service de ravitaillement en vol. Ce projet novateur (qui revient en fait à sous traiter le ravitaillement en vol à une société privée) servira probablement de modèle aux différentes forces aériennes européennes en manque chronique de ravitailleurs ; d'où l'importance de cette compétition. AirTanker qui regroupe EADS pour la cellule et l'intégration, Rolls-Royce pour la motorisation et la maintenance, FRA Cobham pour le système de carburant et la conversion. Thaïes pour l'avionique et l'entraînement et Brown & Root pour le soutien des appareils a pour la première fois battu le 767 du consortium Tanker & Transport comprenant BAE Systems, Boeing, Serco et Spectrum. Quand à lui, le marché américain initialement réservé au 767 de Boeing risque de basculer suite à la désormais célèbre affaire des ravitailleurs. Il est vrai que le 330-200 peut emporter 112 t de carburant, 60 t de charge utile pour une distance franchissable de 7200 km alors que le 767-300 emporte 90 t de carburant, 61 t de charge utile pour une distance franchissable de 6000 km...

Depuis maintenant quelques années, Airbus fait tourner la chaîne des A330/340 à un régime supérieur qu'initialement prévu et parmi les 830 commandes de la famille 330/340, 265 sont des A330-200 et 166 ont été livrés.

# CHAPITRE I



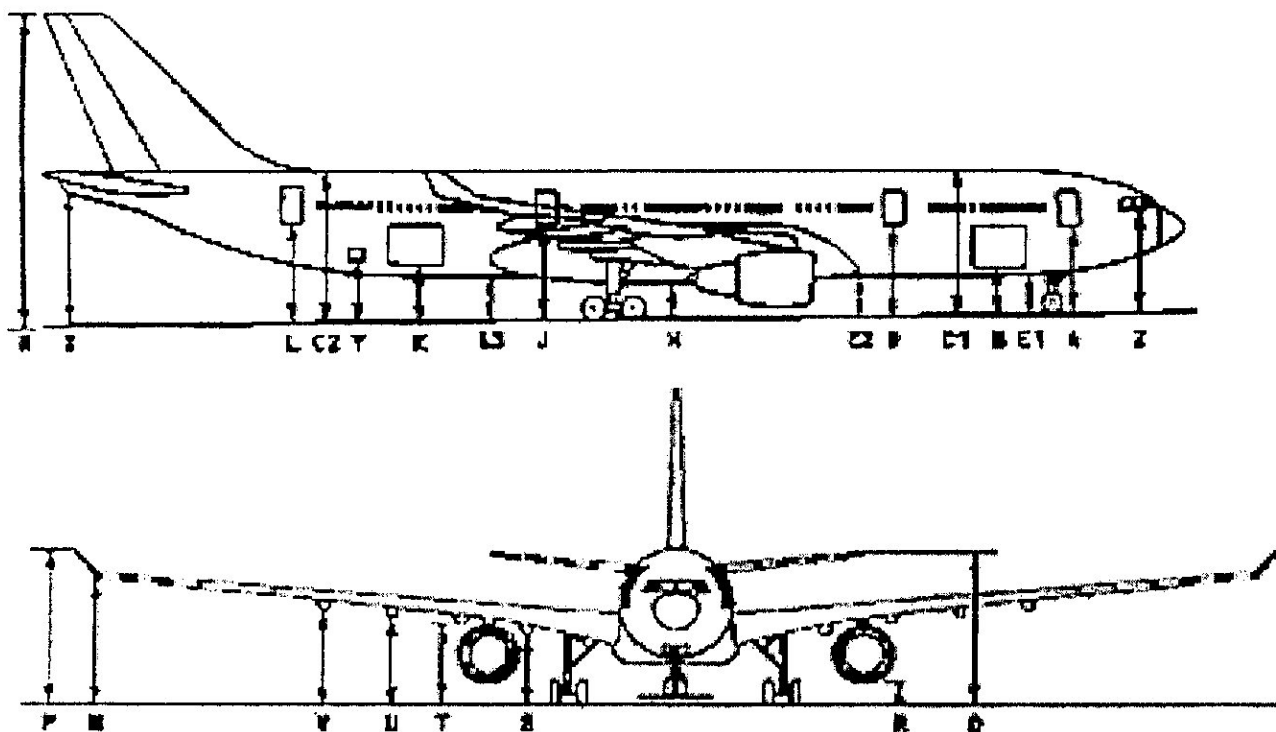
## Généralités sur l'A330-200











POM 23000000 5000000	OPERATING WEIGHT EMPTY CG 27.93		MAXIMUM Ramp WEIGHT CG 312		MAXIMUM Ramp WEIGHT CG 37.33		AC OR JACKS FSL AT 4500m		
	m	ft	m	ft	m	ft	m	ft	
	A	4.43	15.19	4.43	14.54	4.43	15.19	4.22	13.7
	B	7.76	25.43	7.76	25.43	7.76	25.43	4.16	13.5
FES	CI	7.75	25.43	7.76	25.43	7.76	25.43	4.16	13.5
	CI	8.34	27.38	8.34	27.38	8.34	27.38	4.16	13.5
FES	D	4.26	13.97	4.26	13.97	4.26	13.97	4.26	13.97
	E	2.04	6.7	1.84	6.03	1.84	6.03	3.68	12
FES	ED	2.03	6.66	2.03	6.66	2.03	6.66	3.68	12
	ED	2.70	8.84	2.48	8.13	2.48	8.13	3.68	12
FES	H	2.02	6.63	1.81	5.93	1.81	5.93	3.68	12
	J	1.36	4.46	1.15	3.77	1.15	3.77	3.68	12
	K	3.30	10.83	3.27	10.73	3.16	10.36	3.24	10.6
	L	3.74	12.27	3.51	11.51	3.39	11.12	3.53	11.6
	M	18.32	60.11	17.79	58.37	17.71	58.10	18.12	59.45
	N	6.63	21.75	6.13	20.11	6.03	19.78	7.32	23.7
	O	1.20	3.94	1.05	3.44	1.05	3.44	3.23	10.6
	P	1.03	3.38	1.01	3.31	1.01	3.31	3.23	10.6
GE	Q	0.94	3.08	0.74	2.43	0.74	2.43	2.54	8.33
	R	3.89	12.76	3.67	12.04	3.64	11.94	3.33	10.9
	S	1.33	4.36	1.13	3.71	1.11	3.63	3.23	10.6
	T	4.63	15.19	4.42	14.50	4.37	14.35	4.03	13.2
	U	1.33	4.36	1.13	3.71	1.11	3.63	3.23	10.6
	V	7.47	24.51	7.23	23.72	7.07	23.20	7.19	23.6
	Y	3.66	12.01	3.43	11.25	3.38	11.09	3.23	10.6
	Z	3.51	11.51	3.23	10.6	3.23	10.6	3.23	10.6

Fig I.3. Dimensions de l'A330-200



## I.2. LE FUSELAGE :

Le fuselage constitue la structure principale de l'avion et ses fonctions sont extrêmement variées. Il contient les passagers, le fret, les équipements électroniques de navigation et de communication, les circuits mécaniques, électriques, Hydrauliques ou pneumatiques des commandes et les canalisations des systèmes de conditionnement d'air, parfois, il supporte ou contient les moteurs, et le train d'atterrissage.

De plus, le fuselage assume un rôle de bras de levier entre les empennages et le centre de gravité; c'est pourquoi sa longueur est déterminée non seulement en fonction de la capacité de charge désirée, mais aussi en fonction des qualités de stabilité et de maniabilité.

### I.2.1. Analyse d'un fuselage :

Le fuselage de l'A330-200 a une structure semi monocoque. (Voir fig. I.4)

**Les éléments constitutifs du fuselage sont:**

- nez de fuselage.
- La partie avant de fuselage.
- La partie centrale du fuselage.
- La partie arrière du fuselage.
- Cône arrière du fuselage.

#### ➤ Nez De Fuselage

Le cockpit, la cabine et la saute électronique sont les parties pressurisées du fuselage. Un plancher résistant à la pression est installé dans la partie inférieure du nez du fuselage; Ils séparent le compartiment de train d'atterrissage avant de la zone pressurisée. . (Voir fig.I.5)

#### ➤ La partie avant de fuselage :

La partie avant de l'ensemble fuselage contient une partie de la cabine et la Porte passager / équipage, et la partie inférieure contient le compartiment de fret avant et sa porte.

Toute cette partie est dans la zone pressurisée. . (Voir fig. I .5)

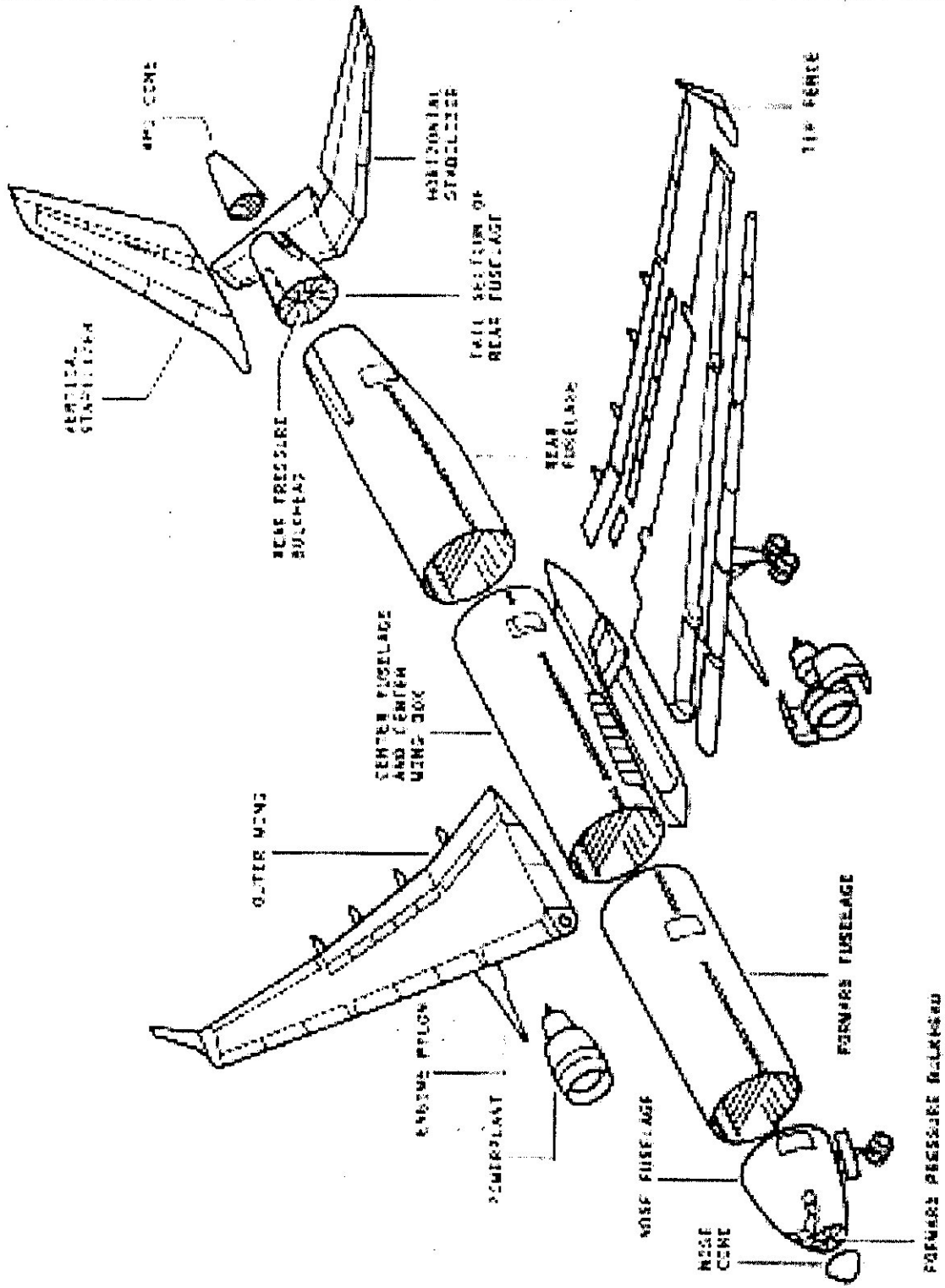


Fig I.4. Structure principale de l'A330-200

### **I.2.2. La partie centrale du fuselage :**

Le compartiment supérieur de la partie centrale du fuselage contient une partie de la cabine. La partie centrale de la voilure, le compartiment du train d'atterrissage principale et le compartiment hydraulique sont dans le compartiment inférieur de cette partie.

La cabine, le plancher, la partie centrale de la voilure et le compartiment du train d'atterrissage principale constituent les parties pressurisées. . (Voir fig. I.5)

### **I.2.3. Partie Arrière du fuselage :**

Le compartiment supérieure de cette partie contient une partie de la cabine et la porte arrière passager/ équipage, et la partie inférieure contient la soute arrière, la porte arrière de compartiment fret et une grande porte pour le fret.

Toute la partie arrière du fuselage est dans la zone pressurisée. . (Voir fig. I.6)

### **I.1.6- Cône arrière du fuselage :**

Le cône arrière du fuselage fait partie du secteur du fuselage non pressurisé. La partie arrière de ce cône constitue la queue de fuselage et elle peut être démonter comme un module a part.

Les stabilisateurs vertical et horizontal sont installés avec un ajustage de précision sur le cône arrière de fuselage.

Deux panneaux d'entretien sont installés sur le cône pour accéder à l'empennage vertical.

L'unité auxiliaire de puissance (APU) est installée dans son compartiment dans le cône, qui est désigné comme une zone de feu. Ce compartiment est protégé de l'intérieur par des feuilles en TITANE. (Voir fig. I.6)

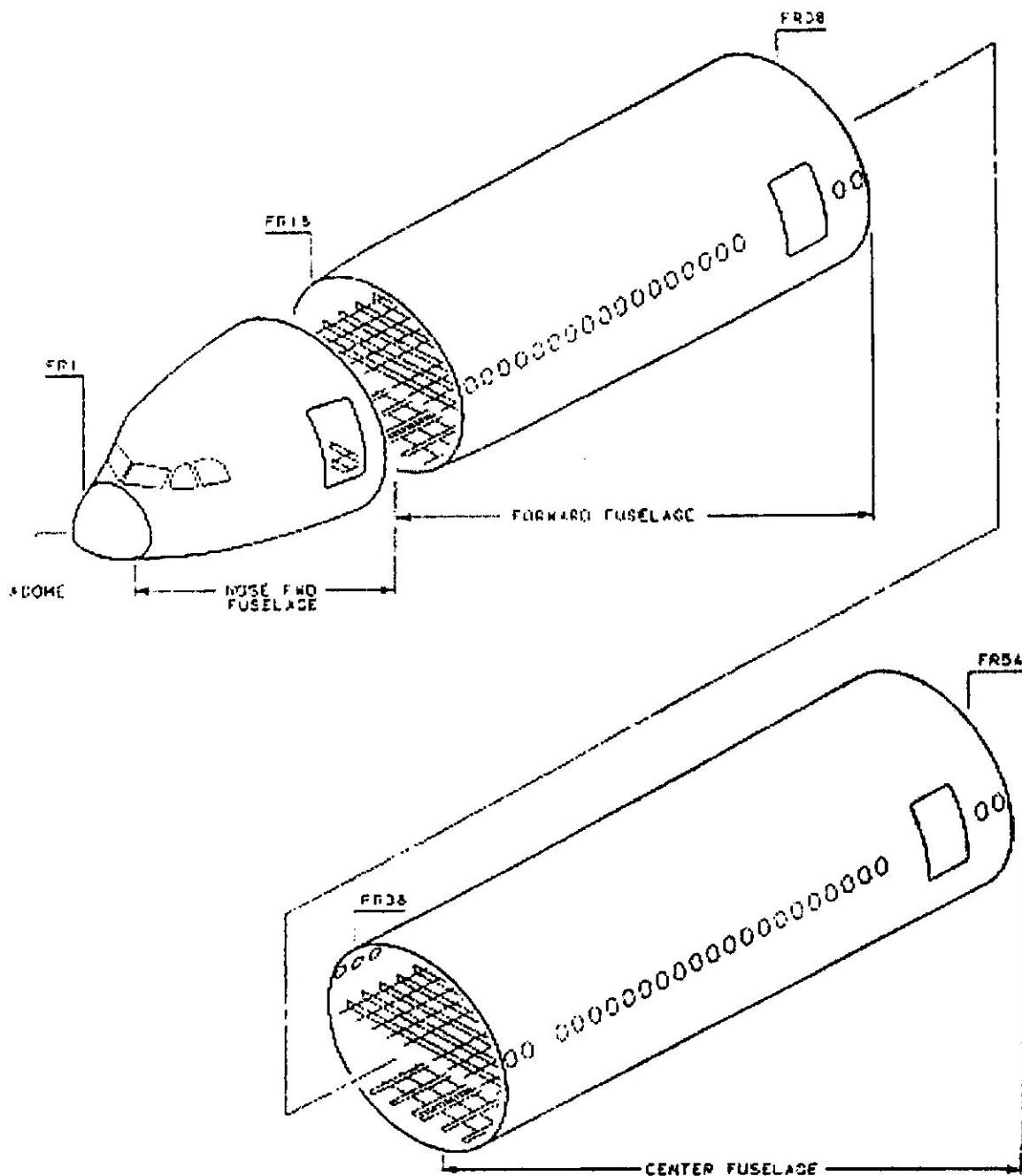


Fig I.5. partie avant de fuselage (nez, avant, centrale)

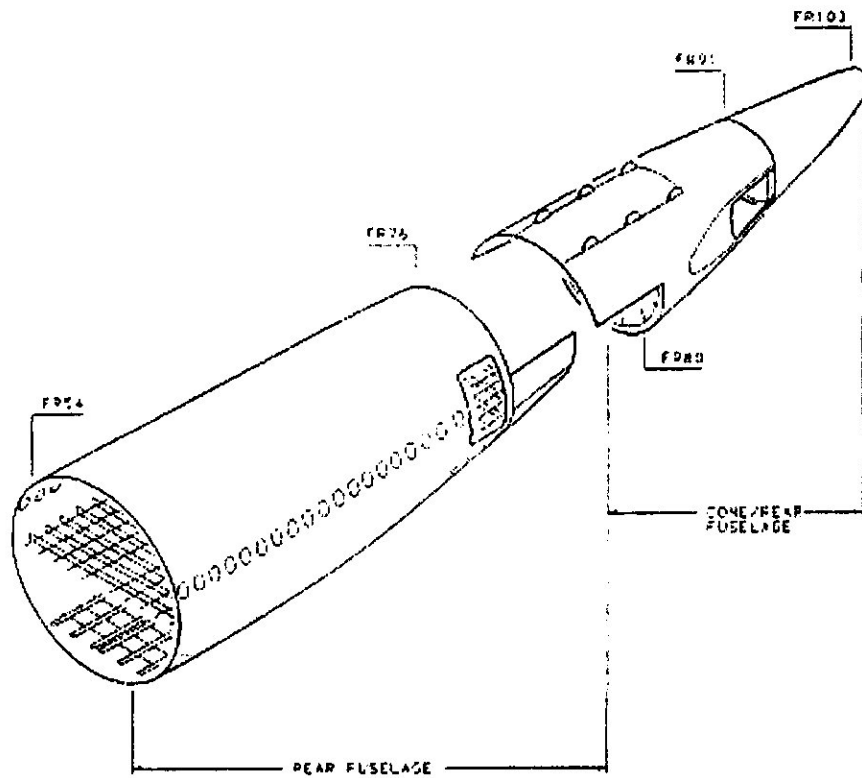


FIG 1.6.03.01.01.01.01.01

Fig I.6. partie de fuselage (arrière, le cône)

### I.3. Les portes :

#### I.3.1. Généralités :

Les portes sont installées dans l'avion pour nous donner accès aux différents compartiments. Chaque porte a une fonction spéciale. Il y a :

- ❖ portes utilisées pour l'entrée et la sortie des passagers et de l'équipage.
- ❖ portes utilisées pour le chargement et le déchargement des bagages et de fret.
- ❖ portes utilisées pour l'entretien.
- ❖ portes internes.

λ Nous pouvons actionner les portes mécaniquement ou hydrauliquement. Toutes les portes externes sont alignées avec le fuselage quand elles sont fermées.

× L'avion est équipé d'un système de commande (DSCS) qui surveille la position de certaines des portes. Des indicateurs mécaniques sont également installés sur quelques portes pour indiquer la fermeture/le blocage ou le déblocage de la porte relative.

L'avion a six portes passagers/équipage (type A) et deux portes de sortie de secours (type 1) la porte 3L (z834) et la porte 3R (z844).

#### I.3.2. Localisation :

Les composants principaux sont :

- portes passagers/équipages.
- portes de sortie d'urgence.
- porte de compartiment cargo.
- portes de d'accès et de service.
- portes intérieures fixes.
- portes de détresse.
- trappes de train d'atterrissage.
- ▪ portes diverses.

#### Description:

- **Portes passagers/équipages.**
- **Portes de sortie d'urgence:**

L'avion a deux portes de sortie d'urgence ; une dans chaque côté de la cabine.

Elles sont désignées : porte 3L (Z834) et porte 3R (Z844).

Elles sont utilisées pour l'évacuation des passagers et de l'équipage en cas d'urgence uniquement.

Les portes de sortie d'urgences sont des portes qui s'ouvrent à l'extérieur et d'une façon parallèle avec le fuselage, et on peut les actionner de l'intérieur de fuselage comme on peut le faire de son extérieur.

(Voir fig. I.7)

➤ **Porte de compartiment cargo :**

L'avion a trois portes de compartiment cargo. Elles nous donnent accès aux trois compartiments cargo pour le chargement et le déchargement de fret et des bagages, et elles sont installées côté inférieur droit du fuselage. Les portes de compartiment fret avant et arrière (Z821 et Z822) s'ouvrent à l'extérieur du fuselage. Elles sont verrouillées et déverrouillées manuellement de l'extérieur de l'avion.

Il y a un système hydraulique qui ouvre et ferme ces portes. La grande porte arrière de compartiment cargo (Z833) s'ouvre dans le fuselage. On peut l'actionner de l'intérieur et de l'extérieur de l'avion.

La porte est verrouillée et déverrouillée manuellement.

➤ **Portes de d'accès et de service :**

Des portes d'accès sont installées dans l'avion pour l'inspection de la structure et pour l'entretien.

Des portes de service sont installées dans le fuselage pour donner accès pour l'entretien des systèmes.

Toutes les portes d'accès et de service s'ouvrent et se ferment manuellement.

➤ **Portes intérieures fixes :**

Plusieurs portes intérieures fixes sont installées dans l'avion. Elles nous donnent accès d'un compartiment à un autre. Les portes sont installées dans des partitions fixes qui divisent les compartiments adjacents.

Elles nous donnent accès aux différents systèmes installés et aux équipements d'entretien.

➤ **Trappes de train d'atterrissage :**

Les trappes de train d'atterrissage donnent une protection au train d'atterrissage quand l'avion est en vol. Les trappes de train d'atterrissage sont attachées au fuselage par le compartiment de train d'atterrissage. Elles sont actionnées hydrauliquement et commandées électriquement.

Elles s'ouvrent/se ferment pendant la sortie et la rétraction du train d'atterrissage.

On peut les actionner indépendamment pour l'entretien.

➤ **Portes diverses:**

On peut inclure dans les portes diverses:

- la porte de la turbine dynamique (RAT).
- la porte de dégagement de la suppression du compartiment APU.

➤ **Système d'avertissement :**

Des avertissements liés aux portes sont indiqués électriquement et mécaniquement.

Ils sont donnés comme des indications visuelles ou auditives.

Les types d'avertissements donnés sont :

- Avertissements lié aux portes.
- Avertissements liés a la glissière de secours.
- Avertissements de pression résiduels.

Les portes et le système de commande des glissières donnent des avertissements électriques.

Le système de commande électrique commande également la fonction de la porte de compartiment cargo.



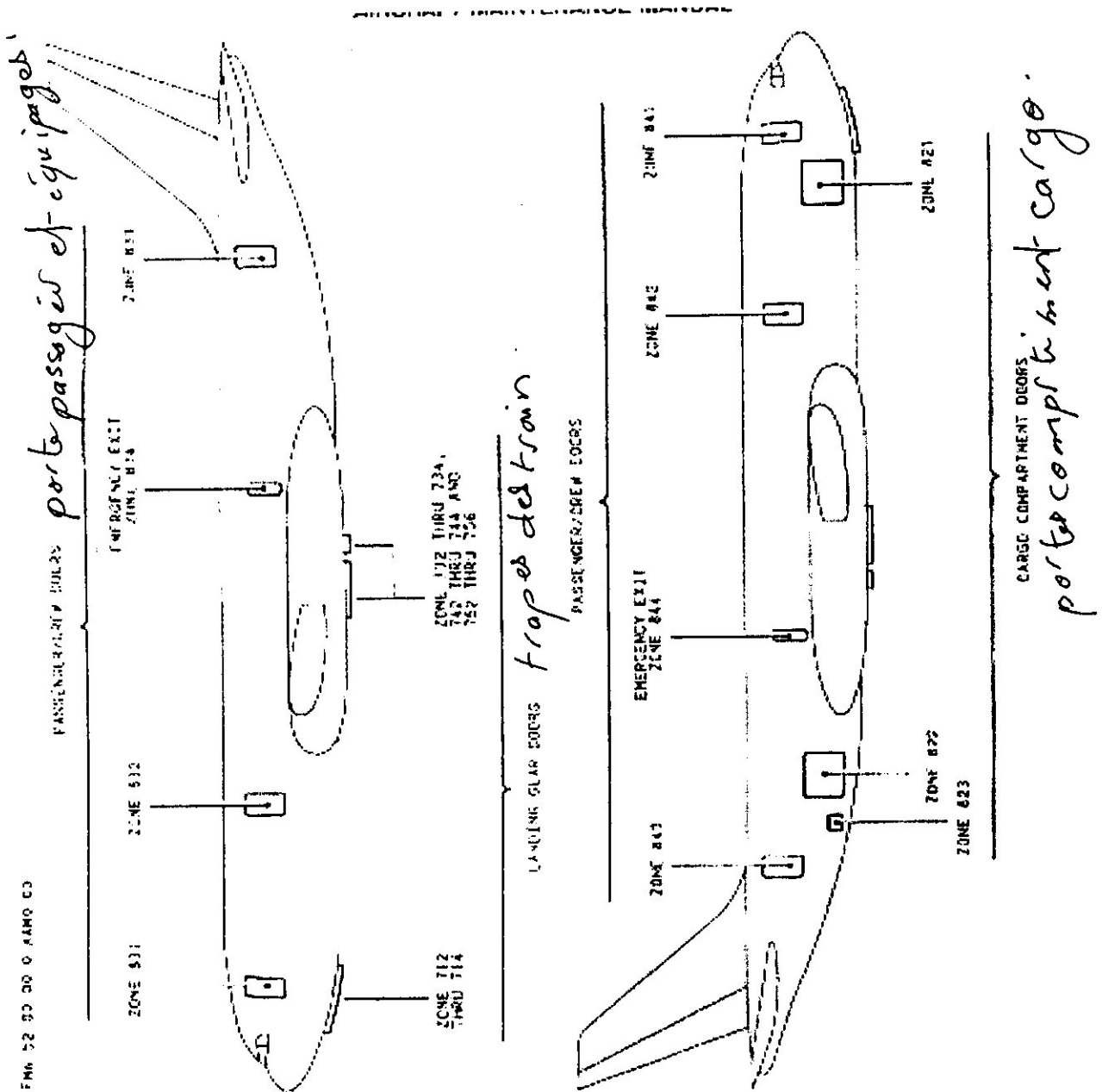


Fig L7. Portes passagers/équipages

## **I.4. Les ailes :**

### **I.4.1. Généralité :**

Les ailes sont les éléments de la cellule qui produit la portance; en vol, elles sont soumises à des contraintes en flexion et en torsion.

### **I.4.2. Types et formes de l'aile :**

Les formes de l'aile, en plan et en coupe, sont dessinées par le constructeur en fonction du poids, de la taille, de l'utilisation de l'avion, des performances de vitesse désirées (en croisière, au décollage et en approche) et du taux de montée. Le choix de l'aile est le résultat d'un compromis pour atteindre les caractéristiques désirées.

### **I.4.3. L'architecture de l'aile :**

L'élément fort de l'aile est le longeron principal. Il supporte la majorité des contraintes en flexion. C'est une poutre placée dans le sens de l'envergure, qui va de l'emplanture au bout de l'aile.

Il peut y avoir un ou plusieurs longerons dans une aile. Dans certaines ailes, les constructeurs placent un faux longeron, semblable au longeron principal, il n'est pas rattaché à l'emplanture; il assure la rigidité.

La résistance d'un longeron est proportionnelle au carré de son épaisseur; cela explique pourquoi les longerons des ailes cantilever vont en s'amincissant depuis l'emplanture, où la concentration des charges est la plus grande, jusqu'au bout d'aile, où les charges sont les moindres.

Les nervures, placées perpendiculairement aux longerons, servent à donner une forme à l'aile, à transmettre les efforts du revêtement aux longerons et à maintenir la séparation entre les longerons.

Elles peuvent occuper la corde complète de l'aile ou seulement une portion. Le type de construction utilisé, est fait de toile, de métal.

L'entoilage est conçu sur les nervures puis recouvert d'un enduit servant à tendre la toile, et Des bandes de toile plus résistante sont collées par-dessus l'entoilage, à l'emplacement des nervures, pour compenser l'affaiblissement causé par les coutures.

L'aile d'avion est une structure continue qui passe par fuselage entre les vues 40 et 47. Il est fait de trois parties:

- A. le plan central
- B. l'aile externe gauche
- C. l'aile externe droite

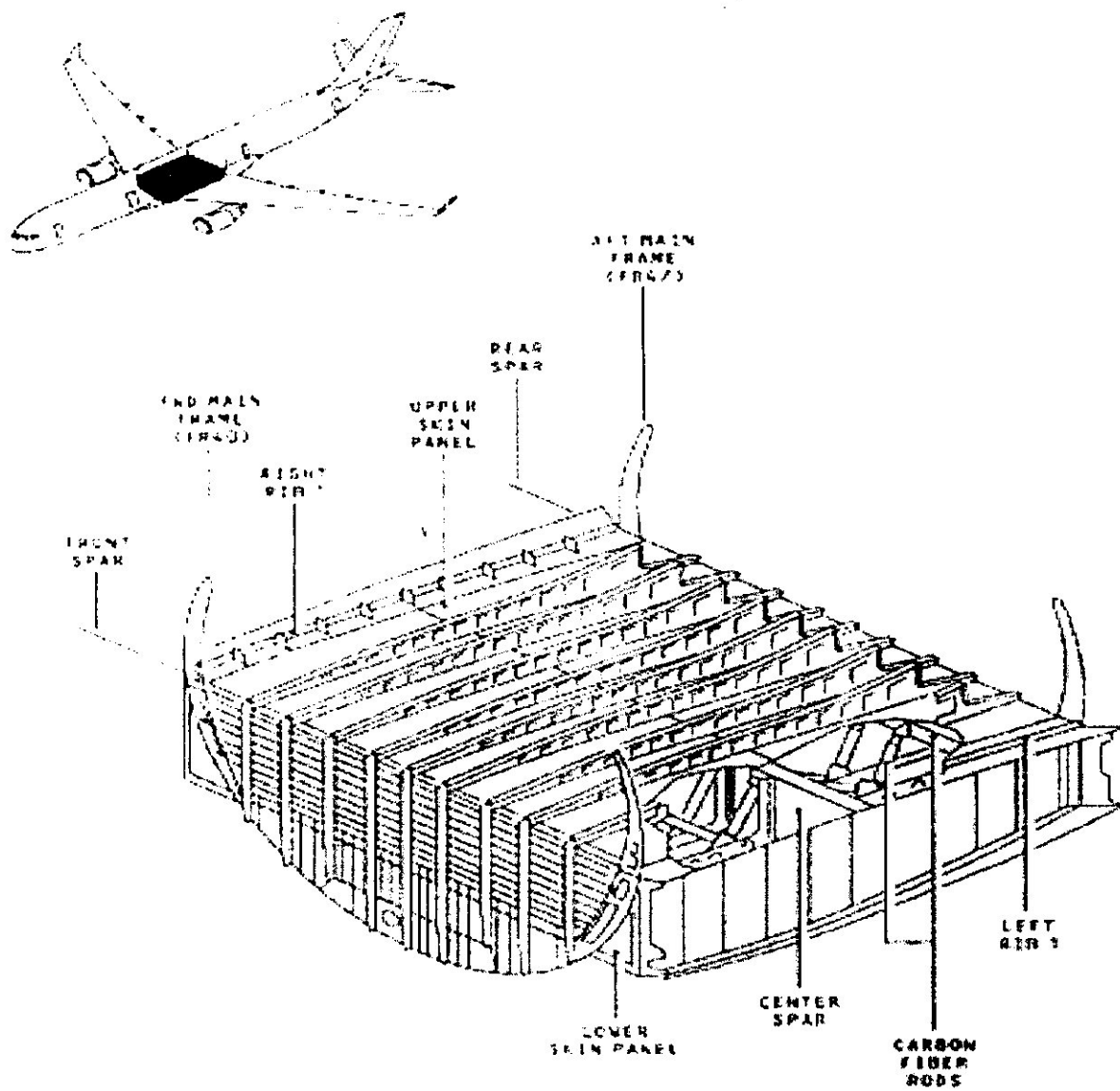


Fig I.8. plan central (l'assemblage d'aile)

### Plan Central (Fig. I.8)

Le plan central est installé dans le fuselage central entre les vues 40 et 47. Il a des attachements pour l'aile externe gauche et l'ailes externes droites à une nervure gauche et une nervure droite.

### Aile Externe. (Voir fig. I.9)

Chaque aile externe inclut:

- l'aile externe (boîte d'aile)
- le saumon
- le bord principal et les principaux dispositifs de bord.

Le longeron en caisson a une construction particulièrement rigide et résistante, et pourtant légère, dans laquelle les parties supérieures et inférieures du longeron, faites de panneaux à raidisseurs intégrés, servent aussi de revêtement.

Il ne reste plus qu'à fixer sur ce caisson le bord d'attaque et le bord de fuite. On utilise le longeron en caisson sur les avions de transport qui évoluent à haute vitesse.

Le bout d'aile, appelé saumon d'aile, est habituellement un ensemble amovible boulonné sur le dernier panneau de l'aile.

Il est amovible et de construction indépendante du reste de la structure afin d'éviter que les accrochages, dont il est fréquemment victime, n'imposent des réparations majeures à l'ensemble de l'aile. Il est fait de fibre de verre sur les avions légers et d'aluminium sur les avions plus lourds.

Les ailes des avions supersoniques doivent être très minces, ce qui pose des problèmes de construction. On utilise de préférence des panneaux à raidisseurs intégrés et des longerons caissons.

Certains avions de chasse ont des ailes pleines, ultrafines.

L'échauffement thermique impose l'utilisation d'alliages autres que ceux d'aluminium : alliages de titane ou d'acier inoxydable

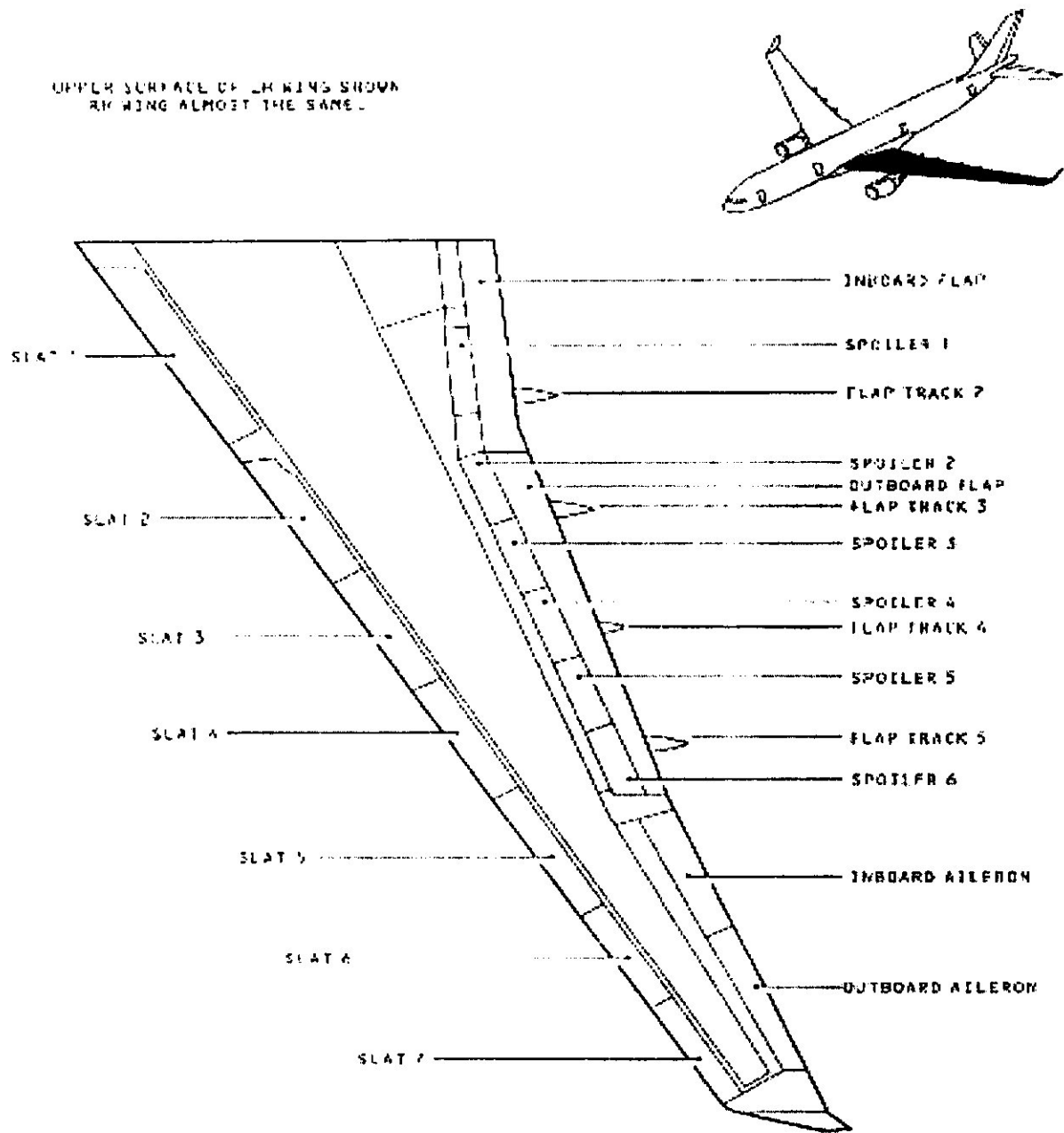


Fig I.9. Aile externe (arrangement général)

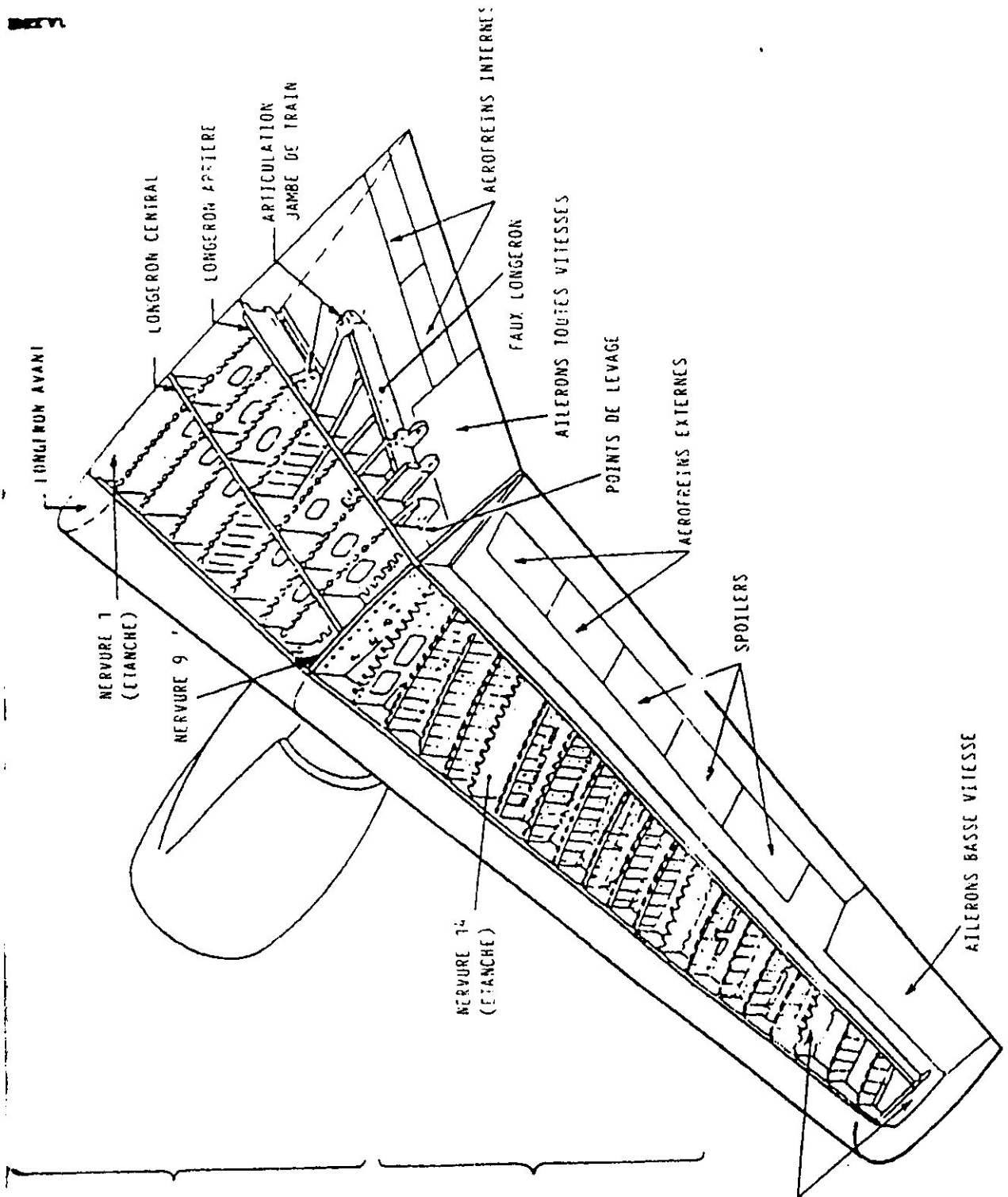


Fig I.10. Structure d'aile

➤ **bord Principal et principaux dispositifs de bord :**

Le bord principal est placé en avant du longeron avant du caisson d'aile. Il inclut l'assemblé marginal intérieur et extérieur et les panneaux supérieurs et inférieurs. Les assemblés marginaux intérieurs et extérieurs ont leurs nez et leurs panneaux installés au-dessus des nervures qui sont attachés au longeron avant. Les dispositifs des écrous de serrage et les déclencheurs rotatifs (pour les voies de lamelle 1 2 et 3) sont installés sur d'autres nervures.

➤ **rebord arrière et dispositifs de rebord arrière :**

La structure de rebord arrière est à l'arrière du longeron arrière de la boîte d'aile et inclut les bords de fuite intérieurs, médians et externes d'arrière longeron.

Le bords de fuite intérieur longeron arrière inclut:

- la boîte de monture.
- le panneau de débordement.
- la monture intérieure fixe.
- la structure entre la monture intérieure fixe et le hors-bord monture.
- la monture extérieure.

Les dispositifs de bord arrière sont:

- les deux volets de bord de fuite.
- les deux ailerons.
- les six spoilers.

➤ **Volets de bord de fuite :**

Les ailerons intérieurs et extérieurs sont installés sur le rebord arrière de l'aile.

L'aileron intérieur est entre STA0/rib1 et STA757/rib11 et l'aileron extérieur est entre STA757/rib11 et STA1798/rib27. (Voir fig. I.9)

➤ **ailerons :**

Les ailerons intérieurs et extérieurs sont installés sur le rebord arrière de l'aile.

L'aileron intérieur est entre STA1798/rib27 et STA2190/rib33 et l'aileron extérieur est entre STA2190/rib33 et STA2557/rib39. . (Voir fig. I.9)

➤ **Spoilers :**

Il y a six spoilers installés sur l'extrados de chaque aile, vers l'avant des volets de bord de fuite.

Le spoiler 1 est installé entre STA291/rib5 et STA568/rib9.

Les spoilers 2 à 6 sont installés entre STA757/rib11 et STA1734/rib26. (Voir fig. I.9)



I.5. L'empennage :

I.5.1. généralité

L'empennage est constitué du cône de queue de fuselage, des surfaces fixes et des surfaces mobiles.

Le cône de queue sert à fermer le fuselage et a profiler la partie arrière. Étant donné que très peu de contraintes y sont appliquées, sa construction est plus légère que celle du fuselage. Les composants structurels primaires des stabilisateurs (longerons, nervures et panneaux) sont faits de stratifications du plastique renforcé de fibres de carbone (CFRP). Tous autres composants sont faits en même matériel, ou du Plastique renforcé avec des fibres de verre (GFRP) ou d'alliage léger.

Les élévateurs et la gouverne de direction sont commandés par trois systèmes hydrauliques indépendants.

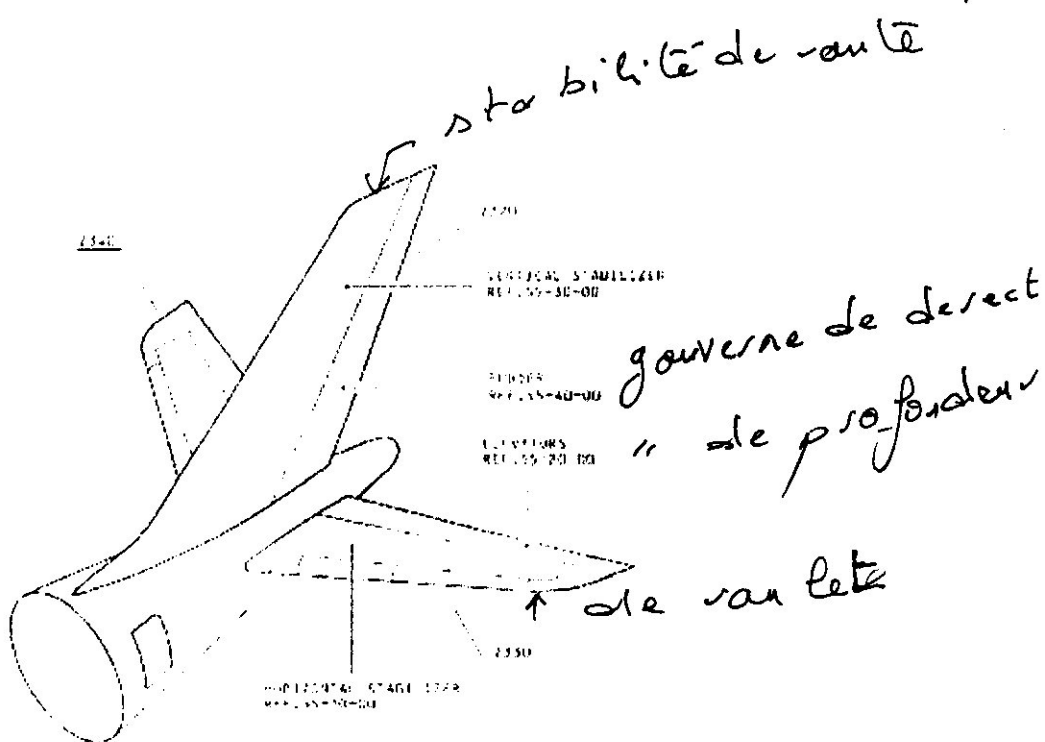


Fig I.11. les empennage (stabilisateur)

## I.6. Train d'atterrissage :

### I.6.1. Généralité :

Les masses et les vitesses d'atterrissage des avions modernes ont atteint des valeurs élevées qui imposent des charges extrêmement fortes au moment de l'impact et au cours de la décélération. On demande au train d'atterrissage une fiabilité considérable dans la capacité d'absorber les chocs, de freiner l'avion, de se rétracter et de se déployer. Le train d'atterrissage est un organe complexe de l'avion qui demande beaucoup de soins.

Il supporte l'avion au sol et fournit le moyen de le manœuvrer:

Il sert à freiner l'avion au sol et parfois, selon les modèles, à procurer un freinage aérodynamique en vol d'une façon comparable aux aérofreins:

Il supporte les charges latérales lors du roulage au sol et lors des atterrissages et des décollages en condition de vent de travers. La plupart du temps, le train d'atterrissage n'a aucune utilité en vol et il crée de la traînée.

Comme celle-ci augmente avec le carré de la vitesse, il s'impose d'installer un train escamotable sur les avions rapides.

Le train d'atterrissage est fixé à la cellule de l'avion en dessous des ailes ou sous le fuselage. L'ensemble du train d'atterrissage est constitué des éléments suivants : (Voir fig. I.12)

- le fût qui renferme généralement l'amortisseur, Ce dernier sert à absorber l'impact et les secousses du roulage. L'ensemble est souvent désigné - par l'expression jambe à amortisseur;
- les biellettes de contre-fiche. Qui maintiennent le fût vertical et le renforcent
- les compas, qui maintiennent les roues dans l'axe de roulement;
- les essieux;
- les roues;
- les freins et leurs accessoires ;
- les pneus.

Le système du train d'atterrissage inclut:

- trains et trappes.
- systèmes de déploiement et de rétraction pour les trains et les trappes.
- système de freinage et les systèmes relatifs
- une commande de direction.

L'avion comporte :

- deux trains d'atterrissage principaux (MLG) et trappes.
- un train d'atterrissage avant (NLG) et trappes.

Les trains soutiennent l'avion sur le sol et incluent des amortisseurs pneumatiques qui absorbent des charges de roulage et d'atterrissage. Pendant le vol les trains sont rétractés dans des compartiments. Les trappes sont mécaniquement et hydrauliquement actionnées après la rétraction des trains.

Les trappes actionnées hydrauliquement se ferment également après que les trains soient déployés.

le système normal de prolongation et de rétraction est habituellement employé pour déployer et rétracter les trains. Un système libre de déploiement déploie les trains si le système normal de déploiement et de rétraction n'est pas disponible.

Deux circuits de freinage indépendants commandent l'opération des freins ; un circuit de freinage normal et un circuit de freinage alternatif.

Un système Anti-dérapiage est disponible dans chaque système pour donner une efficacité maximum au freinage.

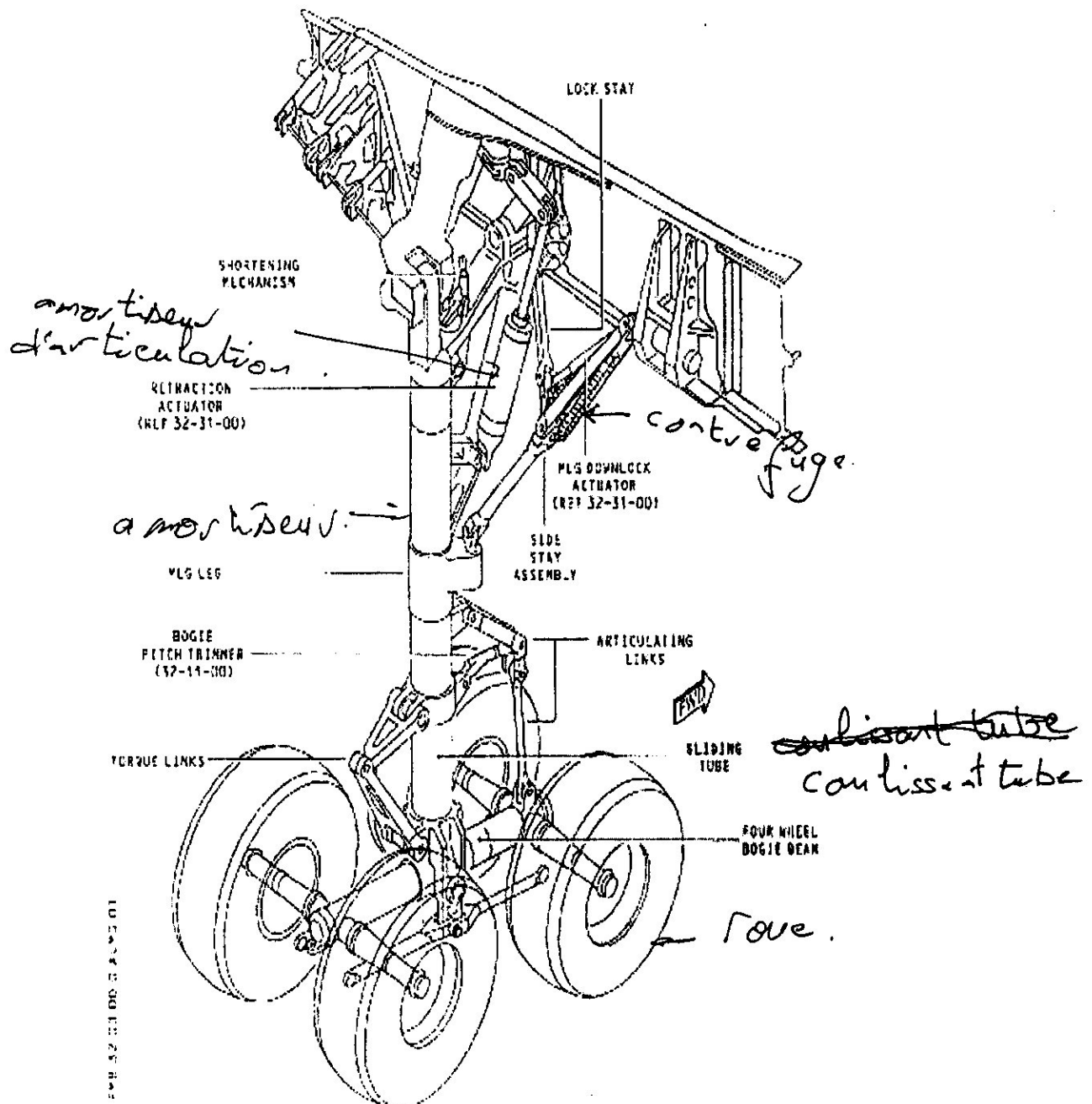


Fig I.12. Le train d'atterrissage

## **I.7. Circuit carburant :**

### **I.7.1. Généralités :**

Le système carburant permet de : (Voir fig. I.13)

- mettre du carburant dans les réservoirs de carburant et les réservoirs auxiliaires, qui sont soumis à la pression atmosphérique par des vannes de décharges.
- contrôle et approvisionnements de carburant avec les bonnes quantités aux réservoirs de carburant
- pendant les opérations de réapprovisionnement.
- fournir du carburant aux moteurs.
- fournir du carburant à l'unité auxiliaire de puissance (APU).
- transféré du carburant vers (ou des) réservoirs auxiliaire pour changer le centrage de l'avion (position de centre de gravité).
- fournir du carburant pour refroidir les générateurs d'entraînement intégrés (IDG) transféré de carburant vers l'aile externe pour le recourbement de l'aile et le soulagement de flottement.

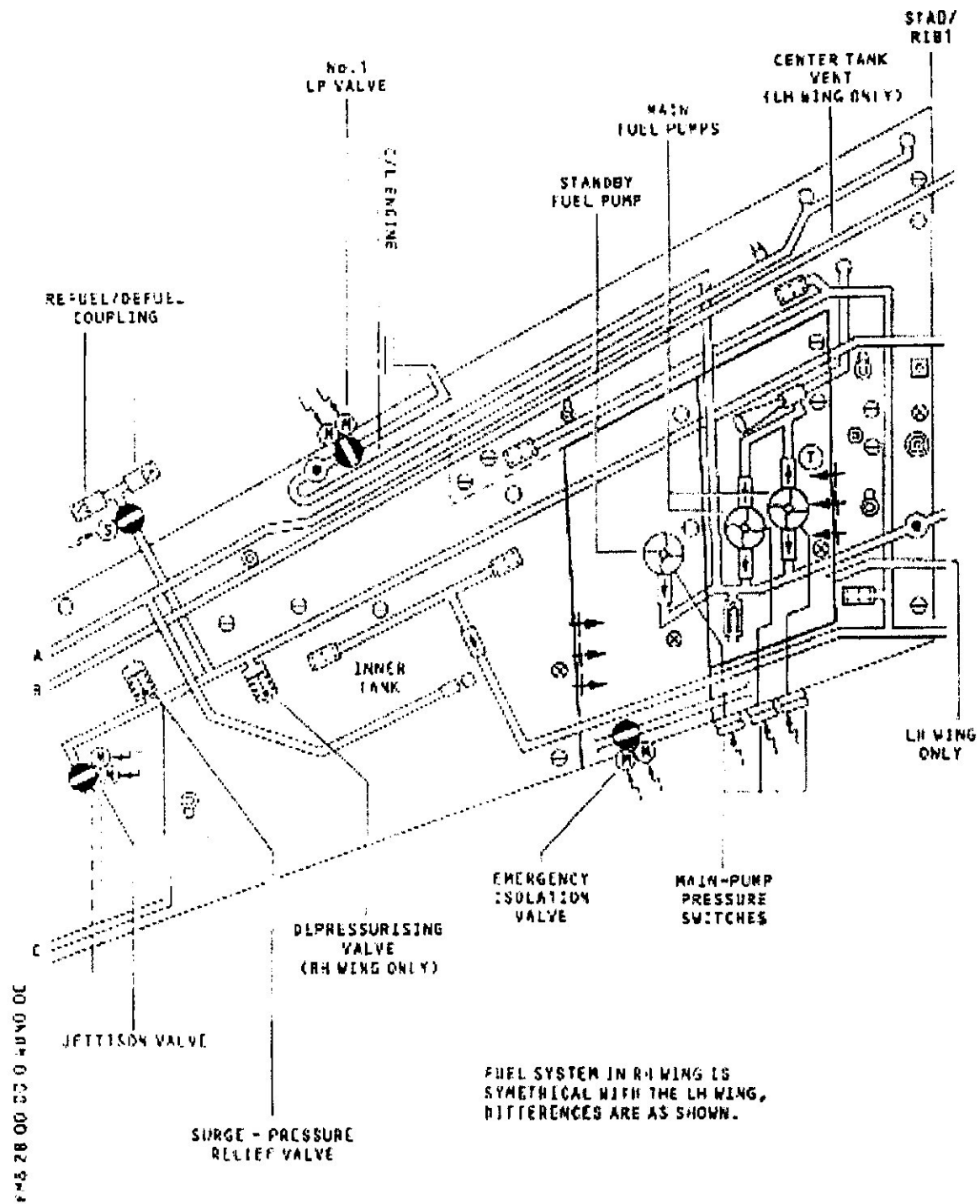


Fig I.13. System de carburant

## I.8. Circuits hydrauliques :

### I.8.1. généralité

Les avions sont généralement équipés de 2,3 ou 4 circuits complémentaires indépendants et autonomes monté en parallèle et sans intercommunication entre eux. Ces circuits peuvent alimenter les servitudes soit simultanément (plusieurs circuits aboutissent à une même servitude), soit séquentiellement (circuits principaux alimentent la servitude et le circuit de secours en attente).

<b>Circuits principaux</b>	Assurent la manoeuvre de toutes les servitudes de l'avion.
<b>Circuits auxiliaires</b>	Assurent la redondance du circuit principal pour certaines servitudes (commandes de vol)
<b>Circuits de secours ou d'urgence</b>	Assurent la redondance de toutes les fonctions vitales

Certains avions possèdent trois circuits, un principal et deux auxiliaires, la fonction de secours étant assurée par les circuits auxiliaires. Pour certains autres appareils, la fonction de secours est assurée par un circuit dédié à cette fonction.

### I.7.2- Repérage des circuits :

Circuit	Code couleur	Code numérique	Code alphabétique
Principal	Vert	1	A
Auxiliaire (secours)	Bleu	2	B - Principal (aux.)
Auxiliaire (secours)	Jaune	3	C - Secours
Secours	Rouge	4	

Toutes les commandes et contrôles sont regroupés sur un même panneau. Chaque circuit possède son panneau individuel de contrôle avec ses sécurités. Alarmes visuelles et sonores. Sécurité fonctionnant souvent en automatique.

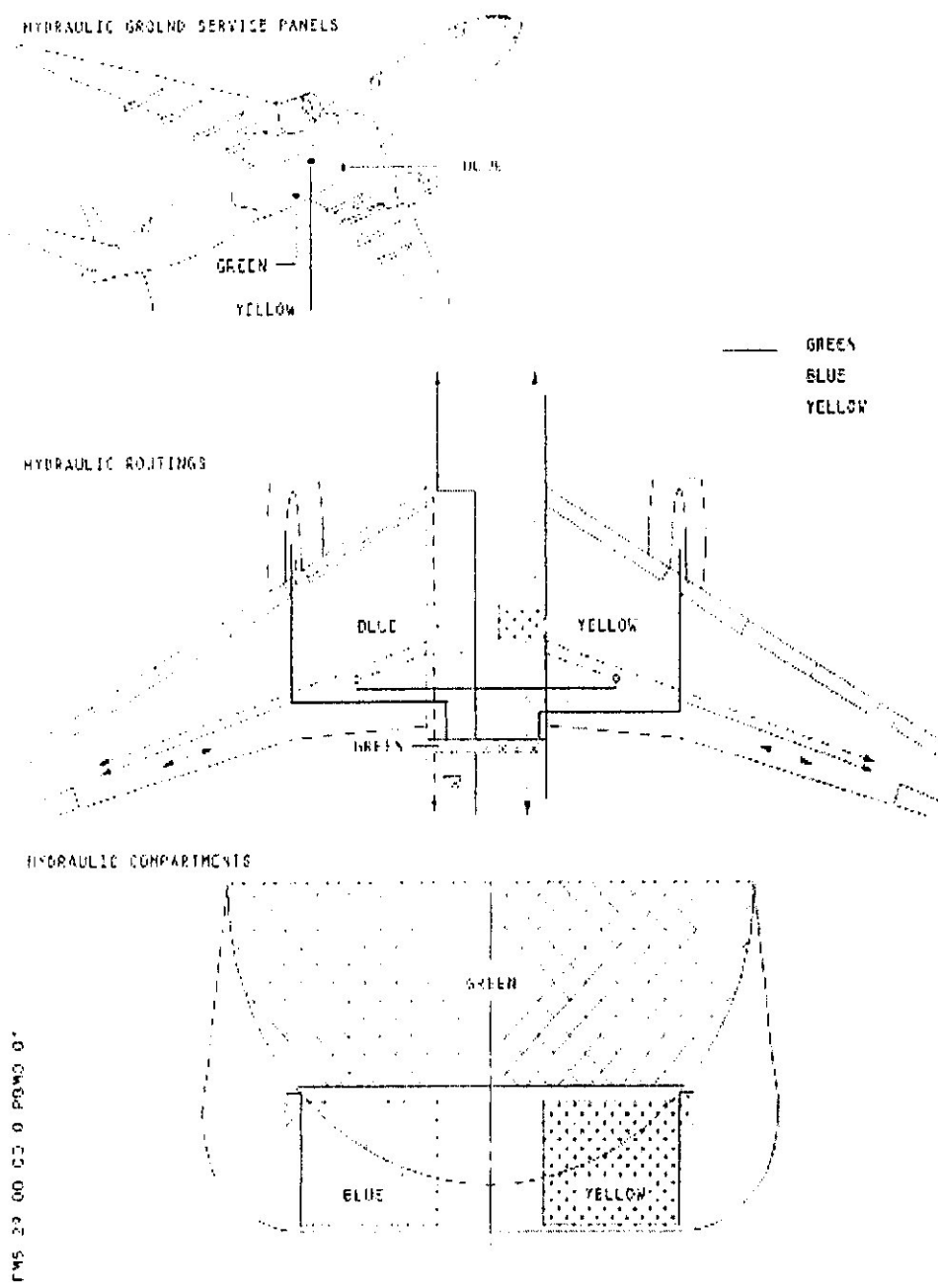


Fig I.14. System hydraulique



## I.9. Les moteurs :

### I.9.1. Généralité :

Le réacteur **CF6-80 E1** de **GENERAL ELECTRIC** équipant l'**AIRBUS A330** est un moteur double corps, double flux a haut taux de dilution.

Il se compose de cinq modules principaux (Voir figure I.15):

- ❖ Module fan.
- ❖ Module cône.
- ❖ Module turbine haute pression.
- ❖ Module turbine basse pression.
- ❖ Module boîte d'entraînement d'accessoire.

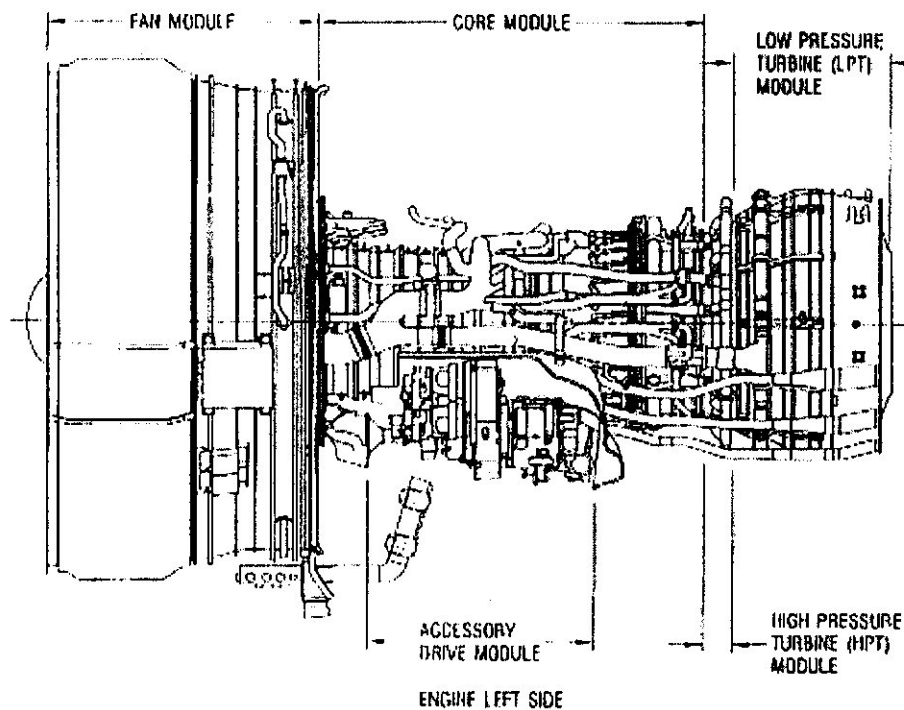


Fig I.15. Les Différents Modules Du Moteur

## II.1. Définitions

D'une manière générale la corrosion est définie comme étant :

- l'attaque des matériaux par des moyens non mécaniques.
- la dégradation des matériaux ou de leurs propriétés par interaction chimique avec leurs environnements.

le retour des métaux et alliages à leurs états naturels de minerais (processus inverse de la métallurgie extractive).

En tous cas, quelle que soit la définition adoptée, la corrosion est une dégradation qui conduit dans certains cas à des pertes considérables. La corrosion est dite sèche quand elle apparaît dans les milieux gazeux et elle est qualifiée d'humide lorsqu'elle ait lieu dans les électrolytes liquides.

## II.2. Processus de la corrosion

La distinction entre processus chimique et électrochimique de la corrosion est très difficile. Certes, quelques exemples d'attaque comme ceux concernant les métaux immergés dans d'autres métaux liquides ou dans certaines solutions non aqueuses par exemple l'aluminium dans le tétrachlorure de carbone ( $\text{CCl}_4$ ) peuvent être classés comme cas de corrosion chimique, mais la plupart des réactions de corrosion font appel à des mécanismes de nature électrochimique, en particulier les réactions de dissolution en milieu électrolytique ou d'oxydation à haute température [\*].

De même il est préférable de différencier entre la corrosion humide et la corrosion sèche. Dans le premier cas, il s'agit d'un milieu constitué par un liquide généralement électrolytique ou par des vapeurs humides ; la température est modérée. Dans l'autre cas, le milieu est constitué par des vapeurs et gaz au dessus de leur point de rosée ; la température est souvent élevée et les phénomènes de diffusion en phase solide deviennent importants.

Dans certaines situations précises, le phénomène de la corrosion se manifeste sous forme biochimique où interviennent des organismes vivants. Ce processus concerne essentiellement l'attaque bactérienne des canalisations ou réservoirs enterrés [\*].

## II.3. Type de corrosion

### II.3.1. corrosion uniforme ou généralisée

C'est la forme la plus commune caractérisée par une réaction chimique ou électrochimique qui se produit uniformément sur toute la surface considérée.

Exemple :

- acier ordinaire ou Zinc immergé dans une solution acide sulfurique diluée.
- acier ordinaire en présence d'air humide
- acier ordinaire en eau de mer.

Taux de corrosion, il s'exprime ne :

- mdd : milligrammes par  $\text{dm}^2$  et par jour
- mm/an : millimètres par an



- iPY : pouces par an
- mpy : millième de pouce par an

Classification

TAUX DE CORROSION	TENUE
< 0,002 iPY	Excellente
<0,05 mm/an	Excellente
0,002 à 0,005 iPY	Bonne
0,05 à 0,130 mm/an	
0,005 à 0,05 ipy	Satisfaisante
0,130 à 1,25 mm/an	
>0,05 ipy	Non satisfaisante
>1,25 mm/an	

Taux de corrosion : (Masse perdue en g) pendant t heures x 8750 en mm/an Surface x (densité) x temps en heures en mm<sup>2</sup> du métal

- Prévention
  - C'est le type de corrosion le plus facile à mesurer ; des inspections régulières permettent d'éviter les catastrophes. On peut aussi prévoir une surépaisseur de corrosion dès la conception de l'appareil.
  - On peut utiliser des revêtements (peintures, plaquages, etc ... ), des inhibiteurs ou la protection cathodique.

### II.3.2. Corrosion galvanique

Entre deux métaux dissemblables plongés dans un électrolyte, existe une différence de potentiel. Si ces métaux sont en contact (c'est-à-dire connectés électriquement), un courant électrique s'établit. Le métal le moins noble (qui a un potentiel de dissolution moins élevé dans la série galvanique) joue le rôle d'anode et se corrode. C'est ce qui se passe dans une pile sèche avec le zinc.

La loi de Faraday donne

$$\text{Perte de métal en } g = \frac{AIt}{n.F}$$

Avec : t : temps en secondes

I : courant en Ampères

n : valence du métal

A : masse atomique en grammes

F : nombre de Faraday = 96500.

La corrosion d'origine galvanique se situe toujours au voisinage de la jonction des 2 métaux.

Exemples de piles :

- hélice bronze connectée à coque en acier dans eau de mer
- canalisation acier oxydée avec canalisation masse enterrées.
- métal écroui en contact avec métal non écroui
- zone de soudure thermiquement affectée par la chaleur
- assemblage à brides réunissant des métaux différents
- boites de distribution des échangeurs et tubes laiton sur eau de mer.

– Prévention

- Sélectionner des métaux très près les uns des autres dans l'échelle galvanique.
- Eviter de présenter une petite surface anodique en regard d'une grande surface cathodique.
- Isoler deux métaux dissemblables (par exemple par utilisation d'entretoises et de rondelles en Bakélite).
- Mettre en place des parties anodiques facilement remplaçables ou les concevoir plus épaisses pour assurer une plus grande durée de vie.
- Installer une électrode qui sera anodique par rapport aux deux autres métaux.

Utiliser des inhibiteurs.

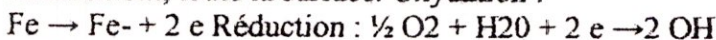
### II.3.3. Corrosion par crevasse

Ce type de corrosion est généralement associé à la présence de petits volumes de solution stagnante dans les trous, sous les dépôts, à l'interface des brides et joints, à l'interface d'un objet tombé dans le fond d'un récipient.

C'est une attaque électrochimique par "aération différentielle" qui se prolonge par une ou des réactions secondaires.

**Mécanisme :**

Considérons une pièce de Fe plongée dans un eau de mer Les 2 réactions suivantes intéressent initialement, toute la surface. Oxydation :



(Il y a conservation des charges électriques).

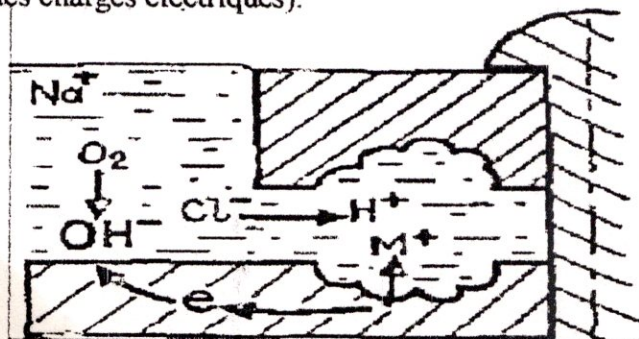


Fig II.1. Corrosion par crevasse



### Environnements agressifs

Le tableau ci-après indique pour quelques métaux les environnements susceptibles de créer une corrosion sous contrainte Acier au carbone : H<sub>2</sub>S humide, soude, solutions de cyanures (HCN), nitrates en solution. Aciers Inox Chlorures, bromures, soude, potasse, eau de mer. Laiton ions ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Hg Alliages d'aluminium Hg Titane Méthanol En solution Na Cl neutre, la corrosion sous contrainte n'est observée qu'en présence d'oxygène.

### Facteurs métallurgiques

La susceptibilité à la corrosion sous contrainte est affectée par la composition chimique de l'alliage, l'orientation des grains, la composition et la distribution des précipités. L'observation faite sur les aciers au nickel est valable pour d'autres alliages, mais il ne faut pas extrapoler abusivement et croire qu'un métal pur est exempt de corrosion sous contrainte. L'augmentation du pourcentage ferrite dans les aciers inox moulés améliore la résistance à la corrosion sous contrainte. Des îlots de ferrite dans la matrice austénitique bloquent la progression des fissures.

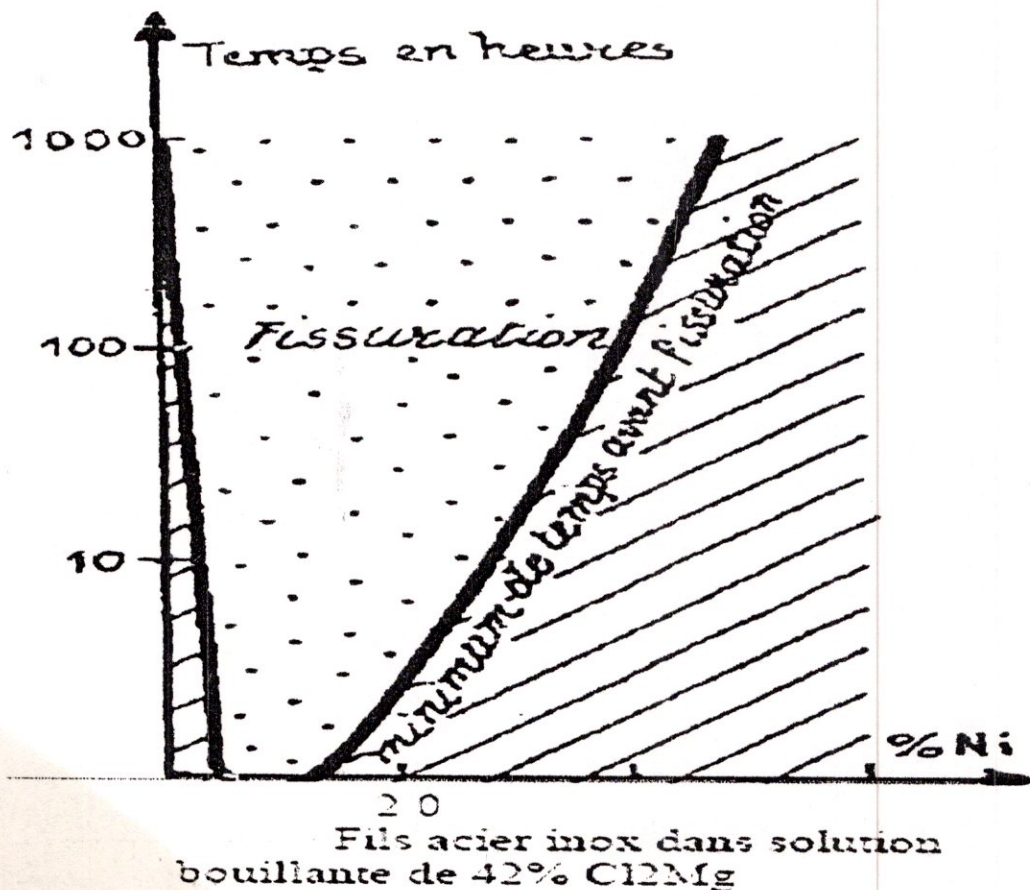
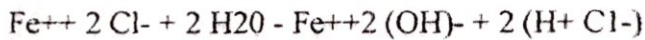


Fig II.6. Facteurs métallurgiques



Après un court intervalle de temps, l'oxygène à l'intérieur de la crevasse est épuisé à cause de la restriction de la connections, mais la dissolution du métal continue à l'intérieur de la crevasse, tandis qu'à l'extérieur, l'oxygène continue à se réduire. L'excès de charges positives  $Fe^{++}$  dans la crevasse est balancé par la migration de  $Cl^-$  qui diffusent plus rapidement que  $OH^-$ . On a concentration dans la crevasse de chlorures de fer qui subissent une hydrolyse.



C'est une zone acide qui peut tomber à  $pH = 2$  et qui accélère la corrosion à l'intérieur de la crevasse.

A l'extérieur de la crevasse on a une zone protégée à tendance alcaline.



#### - Prévention

- Les assemblages soudés sont préférables aux assemblages boulonnés. Il faut exiger pour les soudures une pénétration complète.
- Refermer les crevasses lorsque c'est possible par soudage.
- Concevoir des récipients facilement nettoyables et lavables de façon à empêcher tout dépôt de se former.
- Inspecter et enlever les dépôts régulièrement.
- Prévoir l'enlèvement des solides en suspension dès le début du procédé.
- Utiliser des joints qui n'absorbent pas l'humidité.

### II.3.4. Corrosion par piqûres

L'attaque se limite à des trous, très localisés, pouvant progresser très rapidement en profondeur alors que le reste de la surface reste indemne.

L'installation peut être perforée en quelques heures avec une perte en poids négligeable. C'est la forme de corrosion la plus insidieuse. Le mécanisme est assez semblable à celui de la corrosion par crevasse. La différence réside surtout dans l'auto propagation par gravité et l'autostimulation par  $Cl^-$  et aussi le fait qu'à l'intérieur de la crevasse le métal n'est pas protégé par le film passif qui n'a pas le temps de se former.

Les solutions les plus agressives contiennent : des chlorures, des bromures, des hypochlorites (sels dont l'anion est  $ClO^-$ ), des thiosulfates (sels dont l'anion est  $S_2O_3^{--}$ ).

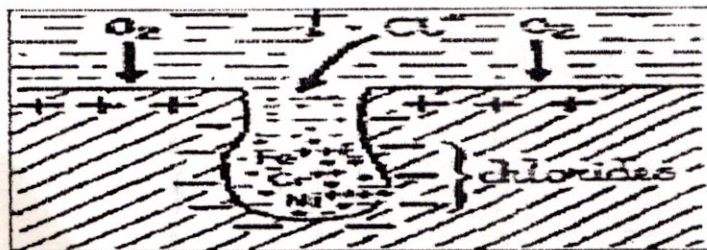


Fig II.2. Corrosion par piqûres



La présence d'un cation oxydant ( $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{++}$ ,  $Hg^{2+}$ ..) permet la formation de piqûres lorsque l'oxygène est absent. En présence d'oxygène, tous les chlorures sont dangereux

- Prévention

- Les méthodes déjà retenues pour la corrosion par crevasse sont utilisables.
- Augmenter la vitesse de circulation des fluides.
- Affiner l'état de surface.
- L'acier ordinaire résiste mieux au pitting que l'acier inoxydable dans certains milieux (eau de mer par exemple).
- L'addition de 2 % de Mo en 18/8 améliore considérablement la résistance au pitting. La liste ci-après donne la résistance au pitting de certains matériaux.
- Les matériaux qui présentent du pitting lors des essais (même très peu) doivent être éliminés.
- Les inhibiteurs ne sont utilisables que s'ils sont efficaces à 100% ; dans le cas contraire ils peuvent renforcer le pitting.
- La protection cathodique au-dessous d'un potentiel critique de pitting peut être intéressante.

### II.3.5. Corrosion inter granulaire

#### II.3.5.1. Aspect métallurgie

Le métal en fusion versé dans une lingotière forme en se refroidissant des cristaux composés d'atomes, qui se rangent suivant des dendrites. Entre chaque cristal viennent s'interposer des atomes non rangés accompagnés d'atomes d'impuretés qui vont constituer les joints de grain. Les joints de grain sont chimiquement plus actifs et par conséquent sont attaqués plus rapidement que les faces des grains lorsqu'ils sont exposés dans un milieu corrosif.

Dans certaines conditions les joints de grain sont le siège d'une corrosion localisée très importante alors que le reste du matériau n'est pas attaqué.

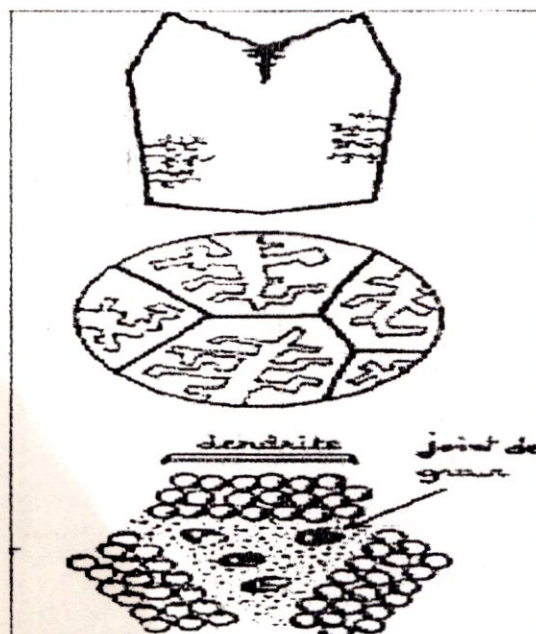


Fig II.3. Corrosion inter granulaire

L'alliage se désagrège et perd toutes ses propriétés mécaniques (la charge à la rupture et l'allongement décroissent sensiblement). La corrosion inter granulaire est due à la présence d'impuretés dans le joint et à l'enrichissement ou l'épuisement local de l'un des constituants dans la zone proche du joint.

**II.3.5.2. Aciers inoxydables austénitiques**

L'appauvrissement en Cr près du joint de train se traduit par la corrosion inter granulaire. Ce phénomène est sensible à la chaleur. La susceptibilité à l'attaque inter granulaire résulte d'un traitement thermique (par exemple soudage ou relaxation des contraintes) et peut être corrigé par un autre traitement thermique.

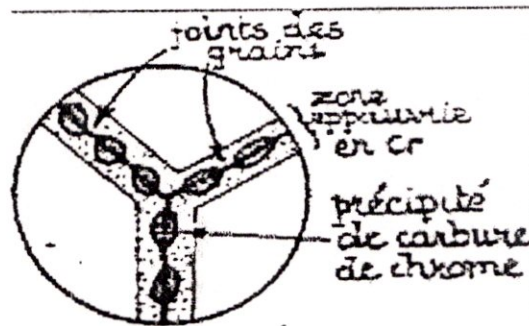


Fig II.4. La zone de susceptibilité thermique se situe entre 400 et 850°C.

Le soudage électrique par point qui est suivi d'un refroidissement très rapide ne présente pas de susceptibilité thermique pour les austénitiques par contre le soudage à l'arc présente à quelques millimètres de la soudure une zone thermiquement affectée par la chaleur susceptible de l'attaque inter granulaire.

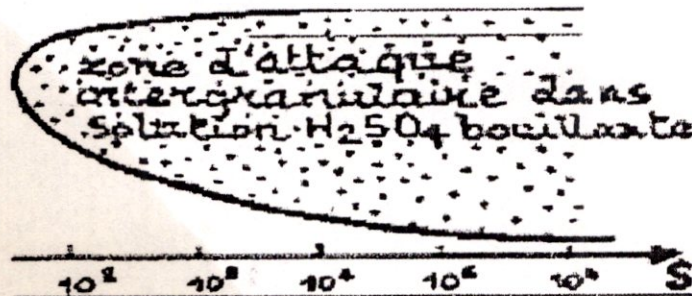
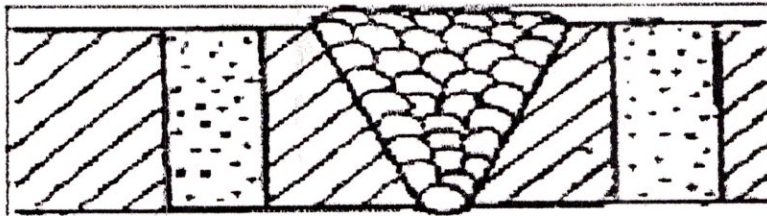


Fig II.5. la chaleur susceptible de l'attaque inter granulaire.



Dans cette zone comprise entre 420 et 850°C les carbures de Cr précipitent hors de la matrice si la teneur en carbone est supérieure à 0,02 %. Les grains de la zone appauvrie en chrome ne résistent pas à certains environnements corrosifs et se désagrègent.



Frappée avec un marteau, une zone attaquée rend un son sourd à l'opposé du son métallique d'une pièce saine.

- Prévention
  - Traitement thermique à 1100°C suivi d'une trempe rapide. A cette température le carbure de chrome est dissous et un alliage plus homogène est obtenu.
  - Stabilisation de l'acier par des éléments ayant une plus grande affinité pour le C que le Cr (Niobium, Ta, Titane)
  - Abaissement de la teneur en C (on a moins de carbures de Cr).

#### Aciers ferritiques

La zone de susceptibilité se situe au-dessus de 925°C. L'immunité est restaurée par réchauffage à 650-815°C pendant un temps relativement court (10 à 60 minutes). Dans les assemblages soudés, les dégradations apparaissent dans la soudure elle-même et la partie immédiatement adjacente. Il semble que la diffusion du Cr et du C soit plus rapide dans le réseau cubique centré  $\alpha$  que dans le réseau cubique à face centrée  $\gamma$  de l'austénite. Ainsi les carbures précipitent plus vite, mais aussi on rétablit plus rapidement une composition uniforme en Cr après précipitation des carbures.

### II.3.6. Corrosion sous contrainte

Les actions simultanées de contraintes et d'un milieu corrosif produisent des fissurations dans un métal. Les fissures sont inter granulaires ou transgranulaires et se présentent souvent sous forme ramifiée.

#### Effets de contraintes

Les contraintes ont diverses origines : thermique, écrouissage résiduel, soudage, charge appliquée, produits de corrosion (action de coin). Le minimum de contrainte nécessaire dépend de la température, de la composition de l'alliage et de l'environnement.

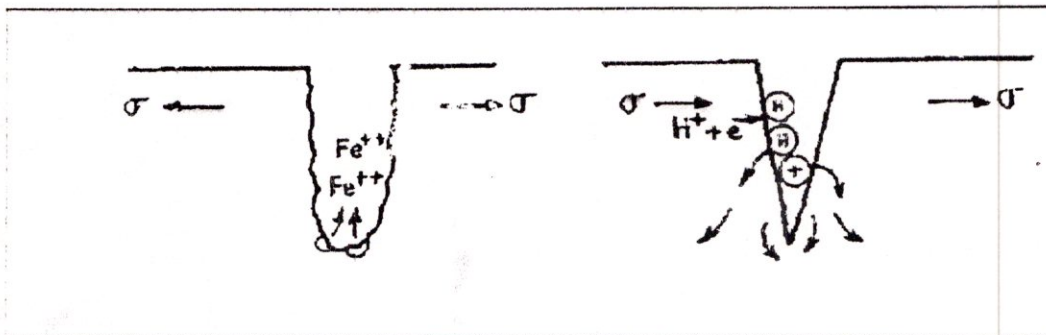
Dans certains cas il ne faut pas dépasser 10 % de la limite élastique. Ce sont les contraintes de tension qui sont les plus dangereuses. Effet du temps la vitesse de

fissuration est constante au démarrage du phénomène, mais elle s'accélère très rapidement par suite de la diminution de la section.



Le mécanisme n'est pas très bien connu mais on peut dire toutefois que

- la corrosion joue un rôle important dans le démarrage des fissures (piqûres ou autres discontinuités qui augmentent les contraintes).
- La propagation d'une fissure exige l'action conjointe de la corrosion et des contraintes.
- Les contraintes de tension, brisent les films protecteurs à la surface du métal et permettent ainsi le démarrage de la corrosion en divers points.
- La propagation de la fissure se fait soit par entrée en solution d'ions métalliques, soit par entrée à l'intérieur du métal d'atomes d'H. Fils acier inox dans solution bouillante de 42% Cl<sub>2</sub>Mg



#### - Prévention

- Abaissement des contraintes par : recuit ou relaxation des contraintes résiduelles. Augmentation de la section ou réduction des charges.
- Elimination de l'élément corrosif dans l'environnement.
- Changer l'alliage. Par exemple utiliser l'Inconel (davantage de Ni) quand le 304 n'est plus satisfaisant. L'acier ordinaire, bien que moins résistant à la corrosion généralisée que l'acier inoxydable, est plus résistant que celui-ci à la corrosion sous contrainte.
- La protection cathodique est efficace quand la fissure se propage par dissolution d'ions métalliques, mais il faut s'assurer qu'il n'y a pas dégagement d'hydrogène, car l'effet de la protection cathodique s'inverserait et deviendrait néfaste.
- Utiliser des inhibiteurs (avec les réserves déjà précisées antérieurement, c'est-à-dire utilisation suffisante d'inhibiteur pour s'assurer qu'il n'y a pas possibilité de corrosion localisée ou piqûres).
- Mise en compression de la surface par sablage.

### II.3.7. Corrosion sous fatigue

La fatigue représente la tendance du métal à se fracturer sous l'action répétée d'un cycle de contraintes. La fissuration apparaît normalement au-dessous de la limite élastique. La "corrosion sous fatigue" est une réduction de la résistance à la fatigue due à la présence d'un milieu corrosif.



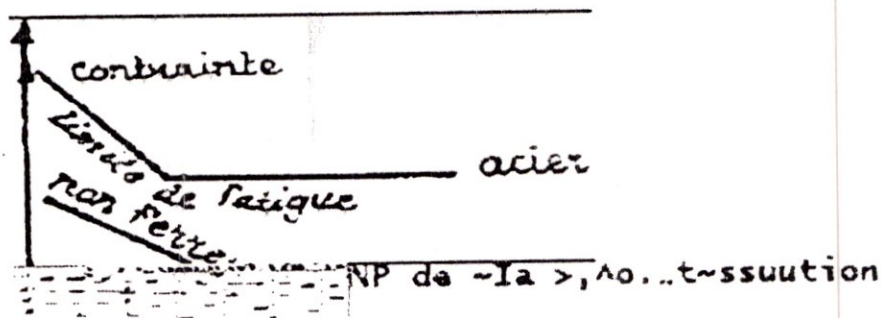


Fig II.7. Corrosion sous fatigue

En eau de mer, les inox austénitiques ne conservent que 75 % de leur résistance à la fatigue. Les fissures sont généralement trans. granulaires ; elles prennent naissance grâce aux piqûres.

#### - Prévention

On retrouve les mêmes remèdes que pour la corrosion sous contrainte. On peut aussi utiliser un revêtement Zn, Cr, Ni, Cu, par électrodéposition.

### II.3.8. corrosion sélective

SELECTIVE Ce mode de corrosion consiste en la dissolution de l'un des éléments de l'alliage.

- La "dézincification" (dissolution sélective du zinc) dans un laiton (70 % Cu - 30 % Zn) est un exemple classique. Le zinc passe en solution, le laiton devient poreux et très fragile ; il perd sa couleur jaune d'origine et vire au rouge. Les dimensions de la pièce ne sont pas modifiées. La corrosion peut être localisée ou uniforme. Le mécanisme est mal connu.

On peut minimiser le phénomène en réduisant l'agressivité de l'environnement ou par protection cathodique.

- La graphitisation de la fonte grise est également un exemple. Le carbone présent dans la fonte quitte son réseau et apparaît à la surface. Il existe une pile galvanique "graphite Fer". Le graphite étant la cathode. Le fer dissous quitte la masse poreuse constituée de graphite, rouille, interstices.

### II.3.9. Corrosion érosion

Phénomène produit par le mouvement relatif d'un fluide corrosif et d'une surface métallique. L'aspect mécanique du mouvement est important ; le frottement et l'usure peuvent intervenir. On a apparition de sillons, surfaces ondulées, trous, ... ayant un aspect directionnel caractéristique.

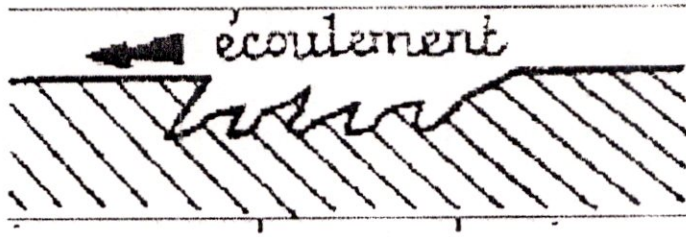


Fig II.8. Corrosion érosion

Les phénomènes de turbulence, collision, couplage galvanique, peuvent contribuer à détruire les films protecteurs et entraîner des vitesses de corrosion très élevées sur des matériaux par ailleurs très résistants à l'état statique.

- Prévention
  - Choisir des matériaux résistants (grande dureté)
  - Meilleure conception (forme géométrique. Agrandissement des  $d$ , renforcement de l'épaisseur des zones susceptibles, etc. ...).
  - Revêtements

### Cavitation

C'est une forme spéciale de corrosion érosion causée par la formation et l'implosion de bulles de vapeur dans un liquide près de la surface du métal. Le phénomène apparaît sur les hélices des bateaux, l'impulseurs de pompes, roues de turbine ou l'on rencontre des changements de pression, ou de fortes vitesses.

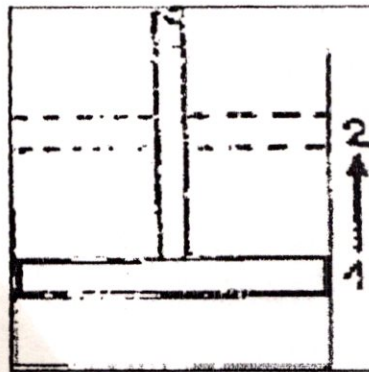


Fig II.9. pompes

Considérons un cylindre rempli d'eau. Si nous élevons le piston, la pression chute et l'eau se vaporise en formant des bulles; si maintenant on repousse le piston la pression monte et les bulles se condensent ou implosent. Si l'on répète ce.



Processus à haute vitesse, les calculs montrent que les rapides implosions des bulles peuvent provoquer des ondes de choc de 4000 bars de pression. Des forces de cet ordre peuvent produire des déformations plastiques dans les métaux. La dégradation se traduit sous forme de piqueurs très rapprochées. On peut dire qu'il y a corrosion dans la mesure où l'implosion des bulles détruit le film passif du métal.

- Prévention
- Les mêmes techniques déjà vues pour la corrosion érosion restent valables.
- des surfaces mieux polies réduisent la formation des bulles.
- $NPSH \text{ disponible} > NPSH \text{ requis}$ .

### II.3.10. Corrosion de contact

Corrosion se produisant à l'interface de 2 métaux fortement chargés et soumis à un glissement relatif de nature vibratoire à faible amplitude et fréquence élevée.

Cette corrosion se présente sous forme de piqûres et sillons encombrés par les produits de la corrosion. On l'observe sur des éléments de machines, boulons, roulements. C'est un phénomène de corrosion érosion dans un milieu atmosphérique.

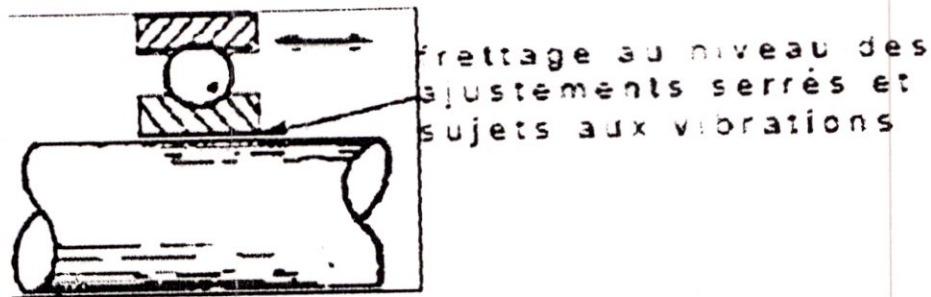
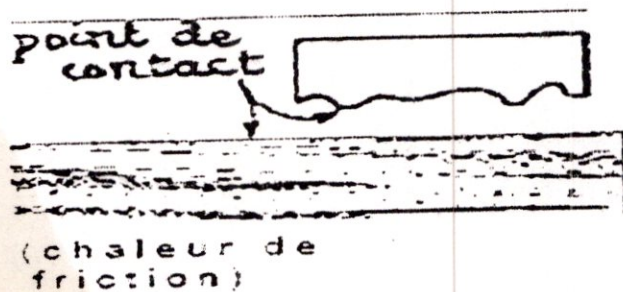


Fig II.10. Corrosion de contact

Le déplacement nécessaire pour obtenir le fretting est très petit de l'ordre de 10<sup>-7</sup> cm.





Soudage à froid au point de contact sous l'effet de la charge. Ces points de contact sont cisailés et donnent des particules oxydées par la suite qui serviront d'abrasif.

– Prévention

- a - lubrification (une huile très fluide est préférable à une graisse)
- b - augmenter la dureté des surfaces en contact
- c - absorber les vibrations par des joints
- d - augmenter les surfaces en contact par un polissage soigné, (charge mieux répartie), un serrage important (frettage) et par utilisation de produits spéciaux qui remplissent les cavités et augmentent les surfaces en contact. (Résines anaérobies du type LOCTITE).

### II.3.11. Corrosion par l'hydrogène

La présence d'hydrogène dans un réseau métallique peut entraîner d'importantes détériorations du métal et une chute catastrophique de ses propriétés mécaniques.

L'atome d'hydrogène (H) est la seule espèce capable de diffuser à travers les métaux. La forme moléculaire H<sub>2</sub> ne diffuse pas. Ainsi, seule la forme atomique de l'hydrogène peut détériorer un métal.

#### Sources d'hydrogène naissant ou hydrogène atomique

– Hydrogène gazeux

La pénétration s'effectue grâce à une adsorption des molécules à la surface de la paroi, suivie d'une dissociation de ces dernières en atomes, provoquée par une action catalytique du métal. L'hydrogène pénètre ensuite sous forme atomique. La dissociation des molécules d'H<sub>2</sub> en atomes est d'autant plus sensible que la température est élevée.

– Hydrogène en solution

La pénétration à partir d'une solution s'effectue lorsque la paroi est le siège d'une réaction électrochimique (cathode).

La réduction de l'ion hydrogène (H<sup>+</sup>) produit des atomes d'hydrogène dans une première étape, qui forment ensuite des molécules H<sub>2</sub>.

Certaines substances telles que les ions sulfures, les composés d'arsenic et du phosphore, les cyanures réduisent le taux de la réaction de réduction de l'ion hydrogène ( $2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2$ ).

Il semble que la 2<sup>ème</sup> étape (formation des molécules) est surtout concernée. En présence de ces substances il y a une plus grande concentration d'atomes d'hydrogène à la surface du métal.

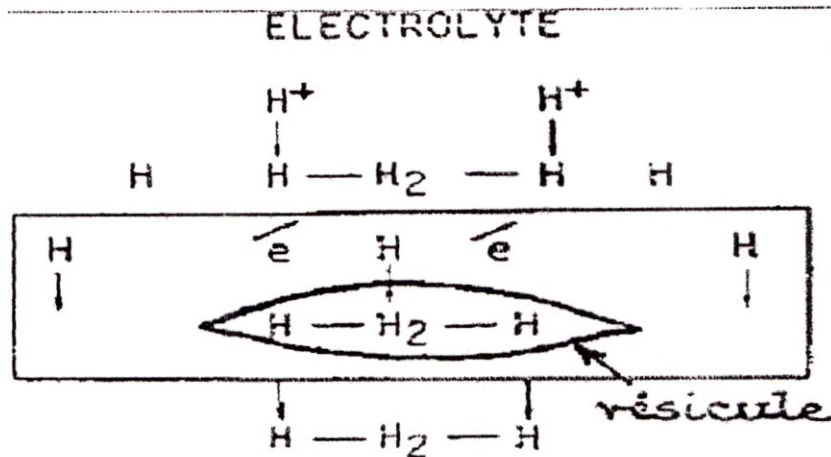
Les dommages causés par l'hydrogène se répartissent en 4 catégories

- Hydrogène blistering se présente dans des procédés
- fragilisation par l'hydrogène chimique, des opérations de soudage ou de décapage ou à la suite
- de corrosions ou de protection cathodique.
- Décarburation Ne se présente qu'à haute température
- Attaque par l'hydrogène rature.



### Hydrogène blistering

Certains atomes H diffusent à travers le métal et sont arrêtés par des porosités ou inclusions (comme les sulfures de manganèse dans les aciers laminés) où ils se combinent sous forme de molécules d'hydrogène. La pression d'équilibre H/H<sub>2</sub> est très élevée et *suffit* pour assurer la rupture de n'importe quel équipement par formation d'ampoules.



### Sources d'hydrogène naissant ou hydrogène atomique

- Prévention
- Utilisation d'aciers calmés (absence de porosités)
- Utilisation de revêtements métalliques, organiques, ou inorganiques.
  - plaquage avec des aciers du type 304-316 ou Monel. L'hydrogène ne diffusant pas à froid dans l'austénite, et le monel (66 Ni - 30 Cu).
  - Gunitages poreux favorisant par catalyse la transformation de H en H<sub>2</sub>.
  - Caoutchouc et plastiques.
- L'enlèvement des poisons tels que : sulfures, composés, d'arsenic, cyanures et ions contenant du phosphore qui accompagnent les acides, provoquent du blistering. (Par exemple dans les raffineries on lave les fractions légères à l'eau pour éliminer et diluer l'H<sub>2</sub>S et les cyanures).
- Utilisation d'inhibiteurs (ils diminuent la corrosion et le taux de réduction des ions H<sup>+</sup>) ; mais ne peuvent s'utiliser que dans des systèmes fermés et recyclés.

### Fragilisation par l'hydrogène

Il y a là aussi pénétration de l'hydrogène atomique à l'intérieur des dislocations proches de la surface. Dans les zones plastifiées, ces dislocations forment des accumulations au droit de la particule responsable de la déformation plastique, qui bloque leur progression.

L'H atomique fixé sur cet amas de dislocations, agit à la manière de coins, sur le métal, soumis par ailleurs à une contrainte de traction. Une microfissure peut dès lors se créer.



Cette microfissure nouvellement formée est précédée d'une zone plastique localisée à sa pointe ; cette zone fixera à son tour les atomes d'H et la fissure pourra progresser. Le temps mis par l'hydrogène pour démarrer une microfissure constitue le temps d'incubation. On voit qu'il s'agit là d'un type de corrosion sous contrainte, dont le responsable est le dégagement de l'hydrogène (réduction de H<sup>+</sup>). Par ailleurs les aciers à hautes caractéristiques mécaniques sont plus sensibles à la fragilisation par l'hydrogène et d'autant plus qu'ils sont soumis à des contraintes plus élevées.

La tendance à la fragilisation est renforcée par la concentration d'hydrogène dans le métal, mais le phénomène est réversible. Ceci signifie que l'on peut pratiquement retrouver les propriétés mécaniques initiales par déplacement de l'hydrogène.

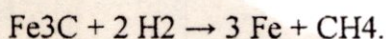
#### - Prévention

- Réduction du taux de corrosion. Pendant les opérations de décapage il faut utiliser un inhibiteur qui protégera le métal de base du fort dégagement d'hydrogène.
- En cours de revêtement électrolytique il faut éviter les dégagements d'hydrogène.
- Etuvage par réchauffage à 150°C qui déplace l'hydrogène
- Eviter les aciers à haute résistance mécanique. Une règle empirique préconise de ne pas dépasser 22 pour la dureté Rockwel C (HRC < 22). Le nickel et le molybdène réduisent la susceptibilité à la fragilisation.
- Le soudage sera réalisé avec des électrodes à bas d'hydrogène. Il est aussi très important de maintenir une atmosphère sèche durant le soudage (électrodes étuvées), puisque l'eau et la vapeur sont des sources d'hydrogène (dissociation à haute température).

### Décarburation et attaque par l'hydrogène

Dans les unités de conversion utilisant de l'hydrogène à haute pression et haute température, les structures en acier en contact avec la phase gazeuse sont susceptibles de présenter le phénomène de fragilisation par l'hydrogène à chaud (> 200°C).

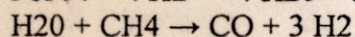
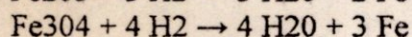
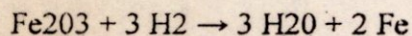
Le principal effet de l'hydrogène à haute température est une décarburation de l'alliage suivant :



#### ▪ Phase d'incubation

Les oxydes ségrégués aux joints de grains jouent un rôle important dans une première période dite d'incubation, précèdent la fragilisation proprement dite. L'H<sub>2</sub> réduit les oxydes avec formation de vapeur d'eau qui retarde l'action fragilisante du méthane.

Les réactions suivantes sont mises en jeu :



L'oxyde de carbone formé pendant la période d'incubation diffuse dans l'acier le long des joints de grains évitant les phénomènes de fragilisation par surpression.

- Attaque proprement dite Lorsque tous les oxydes ont été réduits, la phase finale d'attaque des carbures (cémentite) suivie de fragilisation commence.



Le méthane ne peut diffuser et provoque une fissuration inter granulaire. (Le méthane s'est rassemblé de préférence au joint des grains). Les zones entourant la fissure contiennent une perlite partiellement décarburée (les lamelles de cémentite y sont plus ou moins discontinues et plus ou moins denses).

- Prévention

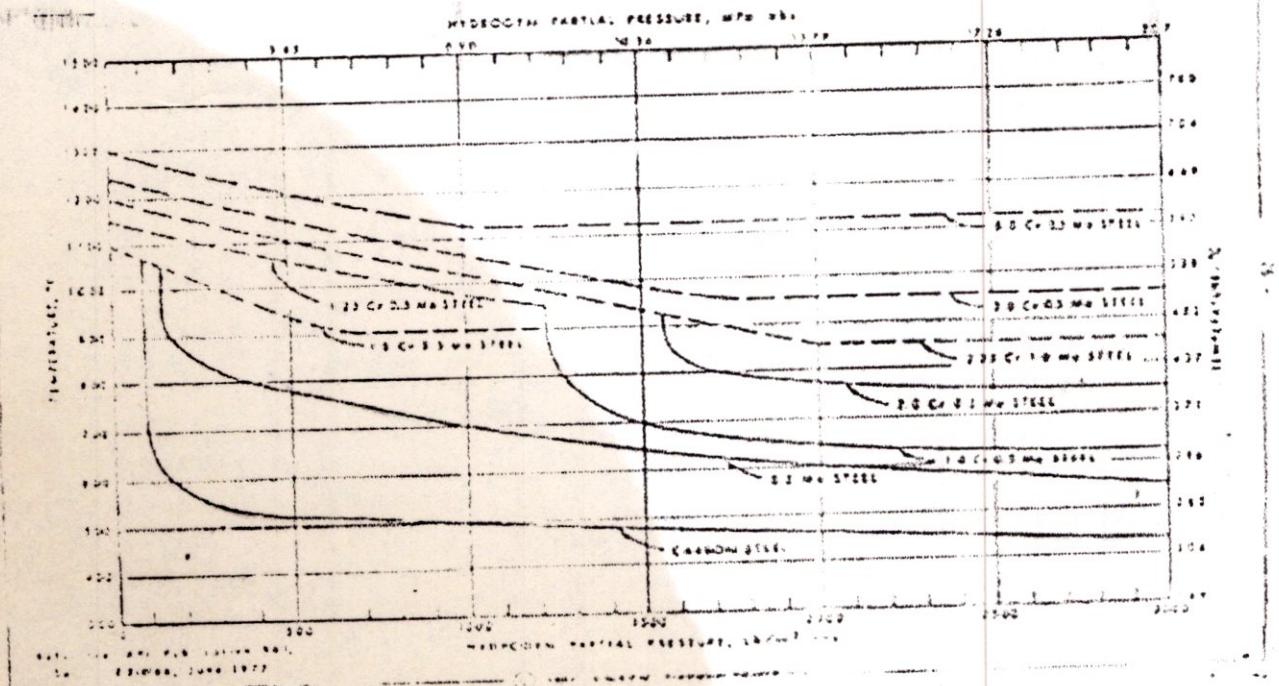
- Remplacement de la cémentite par un carbure stable. On élabore des aciers à carbures stables par addition d'éléments stabilisants - qui sont par ordre croissant d'efficacité : Mn, Mo, Cr, W, Va, Ti, Nb.

Le Ni - le Si et le Cu qui ne donnent pas de carbures n'ont aucun effet.

Les aciers au Ti sont difficiles à forger ; on leur préfère les aciers au Cr-Mo. Les courbes de Nelson renseignent sur les limites des aciers Cr-Mo. Pour des conditions de température et pression très sévères on aura recours aux Inox 18/8, 18/8/3 à très bas carbone ou stabilisés.

Mais il faudra éliminer le danger de corrosion inter granulaire.

- Utilisation d'aciers avec structure homogène à grains fins. La cémentite sous forme sphéroïdale est plus stable que sous forme lamellaire.
- Détensionnement des soudures. Les soudures présentent des gros grains, des différences de dureté importantes, des contraintes résiduelles élevées et pour ces raisons sont susceptibles de fragilisation par l'hydrogène.
- Eviter les surchauffes locales ou accidentelles. Même pour des durées relativement brèves (2 ou 3 heures), la pénétration de la décarburation est considérablement accélérée par une augmentation de température. (Des observations ont été faites à ce sujet entre 500°C et 650°C).



LIMITES FONCTIONNANTES POUR DES ACIERS DANS LE SERVICE DE L'HYDROGENE



## II.4. Les corrosions localisées

Les corrosions localisées découlent toujours de la corrosion uniforme, par couplage galvanique entre des zones hétérogènes. Il suffit alors d'une petite anode et d'une grande cathode pour générer des vitesses de pénétration locales très importantes. Ces hétérogénéités locales peuvent être préexistantes, dans le métal ou dans le milieu corrosif, avec une origine extérieure à la corrosion et bien identifiée.

Elles donneront alors lieu à un grand nombre de types de corrosion « dérivés », c'est-à-dire d'interactions entre la corrosion et tous ces phénomènes tiers. Ceci fera l'objet du paragraphe 4.

Il arrive aussi très souvent que l'hétérogénéité ne soit pas préexistante.

Sa survenance, déterministe ou aléatoire, est alors partie intégrante du mécanisme de corrosion. En fonction de cette survenance, on distingue alors trois types principaux de corrosion localisée, la corrosion caverneuse, la corrosion par piqûres et la corrosion sous tension.

### II.4.1. Corrosion caverneuse

En service, les contacts entre des surfaces supposées planes produisent des interstices très étroits, dont la profondeur peut être de plusieurs millimètres, mais dont l'épaisseur est de l'ordre de 1/100 mm seulement. Il n'y a alors aucun renouvellement possible de la solution emprisonnée dans l'interstice, ni par convection ni même par diffusion.

Or le rapport volume/surface de cet interstice est très faible (0,001 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup> pour une épaisseur de 0,02 mm). En milieu aéré, le stock d'oxygène à réduire est donc extrêmement faible. Il s'épuise alors aussitôt par réduction cathodique sur la paroi, et disparaît en quelques secondes [8]. Ainsi, il se forme quasi instantanément une pile d'aération différentielle entre le petit interstice désaéré et la surface extérieure en milieu aéré. Pour autant, il n'y a pas encore de corrosion galvanique. La figure 16 montre en effet que le couplage galvanique avec l'extérieur se contente de ramener le potentiel libre de l'interstice désaéré  $U_{0i}$  à celui  $U_{0e}$  qu'il avait avant désaération [15]. La vitesse de dissolution locale n'en est donc pas modifiée.

Néanmoins, même si elle n'est pas elle-même préjudiciable dans l'immédiat, cette très faible pile accumule progressivement les ions métalliques dans l'interstice, et elle les équilibre par des anions amenés de l'extérieur par électromigration. D'où un processus « d'incubation », qui peut être plus ou moins long. Celui-ci débouche en final sur un milieu local profondément différent de celui du début, et souvent très corrosif (figure 16 : translation  $A_e \rightarrow A_i$ ). La petite pile d'aération différentielle est donc le moteur initial d'un processus d'incubation, et la corrosion caverneuse proprement dite est le résultat d'un couplage galvanique final beaucoup plus fort entre le milieu d'origine et le milieu dénaturé devenu corrosif [15]. Pour le cuivre et ses alliages, les causes de corrosivité sont multiples.

Ainsi, la corrosion caverneuse peut même se produire au débouché de l'interstice, par dispersion de ce milieu concentré vers l'extérieur. Quant aux aciers ordinaires, la nature exacte du milieu local et le pourquoi de sa corrosivité n'ont jamais été vraiment étudiées.

Pour l'aluminium en revanche, l'hydrolyse de l'ion  $Al^{3+}$  entraîne très vite des pH locaux inférieurs à 4, interdisant le maintien de toute passivité. Les milieux chlorurés ont sous cet angle une sévérité toute particulière, car toute baisse de pH correspond ici à une présence locale d'acide chlorhydrique, « ennemi n° 1 » des métaux passivables.



#### II.4.2. Corrosion sous tension

Il s'agit ici de production d'une corrosion localisée sous forme de fissuration, due à la présence de contraintes mécaniques de tension.

Le terme de corrosion sous tension est l'appellation historique d'origine de ce phénomène. Par la suite néanmoins, ce type de corrosion a aussi été appelé corrosion sous contrainte. Ces deux appellations ont en effet leurs avantages et leurs inconvénients, en fonction de l'âge et des habitudes linguistiques de chacun. Du temps des pionniers de la corrosion, on disait en effet beaucoup « tension électrique » plutôt que potentiel. D'où leur choix du vocable de corrosion

sous contrainte, pour éviter tout risque de confusion sur le sens réel de tension. Aujourd'hui cependant, aussi bien en physique qu'en électrochimie, tout le monde dit à présent potentiel et le terme de tension électrique n'est plus employé que pour quelques expressions technologiques bien précises (lignes à haute tension, appareil sous tension). Ce risque de confusion là a donc disparu. En revanche, avec le développement de la mécanique des solides et la banalisation

des calculs par éléments finis, il arrive souvent que, par inattention, on se mette à craindre toute contrainte de valeur élevée, y compris les contraintes de compression. Pour éviter un risque actuel de confusion inverse du précédent, il est donc recommandé de revenir à l'appellation historique d'origine. De toute manière, l'appellation ne change rien au mécanisme.

Après l'initiation de la corrosion localisée assistée par la géométrie, puis l'initiation spontanée assistée par le couplage lui-même, il s'agit cette fois d'une initiation assistée par la déformation de la surface.

La limite d'élasticité vraie de tous les métaux est en effet toujours inférieure à la limite conventionnelle utilisée dans les codes de calcul (limite à 0,2 % d'allongement permanent).

**L'écart est souvent faible, sauf pour les aciers inoxydables austénitiques (= amagnétiques).**

En service, dès lors que cette limite vraie est atteinte, ne serait-ce que localement, la contrainte induit alors un micro fluage très lent du métal. D'où des ruptures locales des films de surface protecteurs, et l'initiation de couples locaux transitoires. Leur stabilisation ou leur répétition peuvent alors induire des dissolutions locales, mais en forme de fissures. La figure (II.11) illustre ainsi la reconstitution de la protection sur les marches microscopiques créées en surface. Si elle est rapide, il n'y a aucune conséquence (figure II.11 a).

Si elle est lente non plus, car la dissolution reste répartie (figure II.11 b).

Entre les deux (figure II.11 c), la dissolution se localise sous la forme apparente de fissures. Celles-ci peuvent être plus ou moins ramifiées, en fonction d'éventuelles fluctuations locales du champ de contraintes.

Les paramètres de milieux sensibles sont souvent les mêmes que pour les autres corrosions localisées. Pour les aciers inoxydables austénitiques par exemple, on retrouve les chlorures, le pH, le potentiel et, accessoirement, H<sub>2</sub>S. Pour des raisons mécaniques, la température doit cependant dépasser la zone de 50 à 60 °C.



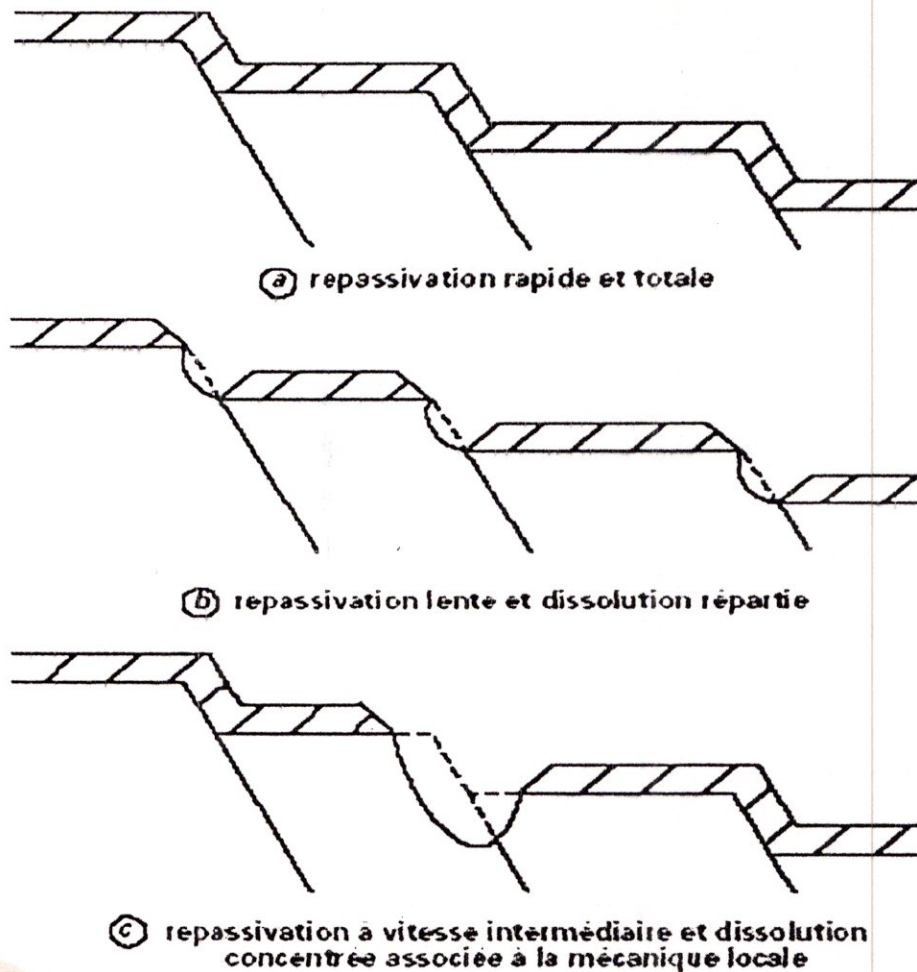


Fig II.11. Repassivation à intermédiaire et dissolution concentrée associée à la mécanique locale

## II.5. Aperçu sur la corrosion de l'aluminium

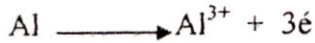
L'emploi de l'aluminium et de ses alliages constitue souvent une solution efficace dans la lutte contre la corrosion. Sa résistance bien connue tient à une particularité physico-chimique qui est la passivation. L'aluminium - très réactif, présente une forte affinité pour l'oxygène. Les produits d'oxydation formés étant stables en milieu aqueux à pH neutre, recouvrant le métal d'un film compact et isolant. L'aluminium ainsi couvert est « passivé » grâce à ce film d'oxyde ou d'hydroxyde [\*].

En plus de sa résistance à certains milieux agressifs, le prix compétitif, la faible densité et les propriétés décoratives font que l'aluminium trouve des applications dans le bâtiment, les appareils ménagers, l'industrie aéronautique et depuis de nombreuses années dans l'industrie automobile [\*].

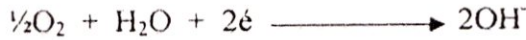
Les perspectives de la diminution de poids sont naturellement parmi les principales incitations à cette utilisation. Par contre, la résistance médiocre en fatigue/corrosion ou corrosion sous contrainte peut limiter son utilisation dans les structures dynamiques.



La corrosion de l'aluminium en milieu aqueux [\*] se fait suivant la réaction électrochimique :



Les considérations thermodynamiques montrent que les seules réactions de réduction possibles sont celles de l'eau et de l'oxygène dissous, suivant les réactions :



Globalement, la corrosion de l'aluminium dans un milieu aqueux électrolytique neutre s'écrit :



La formation d'alumine se fait par migration des ions  $\text{Al}^{3+}$  du métal vers le film pour réagir avec les ions «OH<sup>-</sup>» de l'eau.

L'épaisseur d'un film d'alumine naturelle varie entre 40 et 100 Angströms, suivant les conditions dans lesquelles il est formé. Il se compose de deux couches (voir figure II.12)

la couche barrière interne ; son épaisseur est de 13 à 18 Angströms dépend de la température à laquelle elle a été formée.

La couche la plus externe se forme par réaction de la précédente avec le milieu environnant, plus particulièrement avec l'humidité de l'air.

Cette double couche isole effectivement le métal de son environnement. Cependant, sous certaines conditions agressives, spécialement en présence d'ions halogénures, elle casse en certains points très localement provoquant ainsi la corrosion rapide sous forme de piqûres [\*].

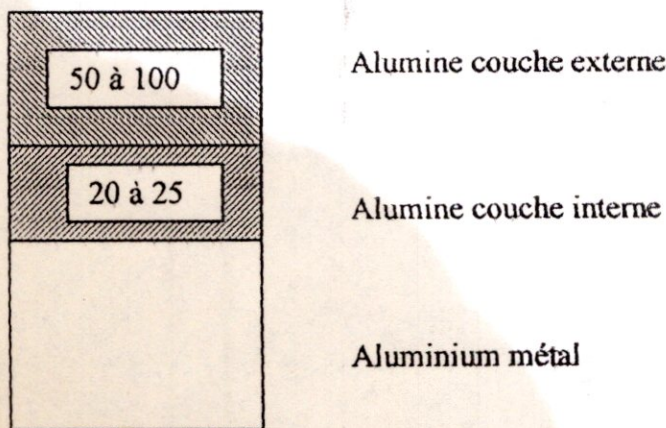


Fig II.12. Couches d'oxydes naturel sur l'aluminium (d'après VARGEL) [7].

La résistance de l'aluminium est limitée à des environnements où la couche d'oxyde est peu soluble. Dans NaCl 3%, et dans la gamme des valeurs comprises entre 4 et 9, le pH n'a pas un effet très important sur la dissolution de cette couche passive [\*]. En étudiant l'adhérence des peintures sur l'aluminium, WAGNER et WUPPERTAL [\*] soulignent que la couche d'oxyde protège l'aluminium est fortement insoluble dans le domaine de PH compris entre 4.5 et 8.5 ; et en dehors de ces limites, l'aluminium subit une attaque en surface du fait de son caractère amphotère .



Lorsqu'ils se trouvent dans un milieu aqueux contenant des ions halogénures, l'aluminium et ses alliages peuvent présenter différentes formes de corrosion, telles la corrosion par piqûre, la corrosion feuilletant ou la corrosion inter cristalline.

L'étude de l'aluminium de haute pureté [\*] a montré que pour ce dernier il existe un domaine passif qui s'étend entre  $-1600$  et  $-770$  millivolts par rapport à l'électrode au calomel saturé dans (mV/ECS) dans le Chlorure de Sodium (NaCl) 2 fois molaire. Les mêmes auteurs rapportent que cette région s'étend entre  $-1660$  et  $-700$  mV/ECS dans l'eau de mer [\*]. L'immersion de deux types d'aluminium à savoir Al technique 99,8 % et Al de haute pureté 99,99 % dans NaCl 3 % pendant 60 jours, a révélé que les deux types présentaient une corrosion uniforme, dont les vitesses sont respectivement de 0,017 mm/an et 0,024 mm/an [\*].

En général, la piqûre et la corrosion inter cristalline sont le résultat d'hétérogénéités introduites dans le métal, ou dans la couche d'oxyde par les impuretés qui forment de nouvelles phases métalliques dans les joints de grains ou des structures différentes en surface.

D'après FOLEY [\*], le degré élevé de réactivité de l'aluminium métallique, le pouvoir de pénétration de l'ion chlorure dans le film d'oxyde, et la faible épaisseur du film d'oxyde, sont les facteurs responsables de l'attaque et de la propagation rapide de la piqûration. Si le film est moins épais en un point, l'attaque du métal est concentrée localement. D'après la même étude le potentiel de piqûre de l'aluminium est de l'ordre de  $-520$  mV/ENH (Electrode Normale à Hydrogène) dans NaCl 3% à  $30^{\circ}\text{C}$ .

La corrosion par fatigue et la corrosion sous contraintes [\*], restent les facteurs obstacles qui limitent l'utilisation de l'aluminium, car même et surtout les alliages aux hautes caractéristiques peuvent être sensibles à ce genre de corrosion.

## II.6. Techniques expérimentales

La complexité des processus de corrosion nécessite l'exploitation d'un grand nombre de méthodes expérimentales pour déterminer la vitesse et la nature des mécanismes d'attaque. Dans le présent cas, l'étude s'est limitée aux deux techniques suivantes :

### II.6.1. Suivi du potentiel d'abandon en fonction du temps

Suite aux phénomènes d'échange inter faciaux, le potentiel de corrosion d'un matériau, plongé dans une solution donnée, subi en général des variations avant d'atteindre une valeur stable. L'origine de ces perturbations peut aussi être due à la formation d'un produit de corrosion insoluble ou au dégagement d'un gaz comme l'hydrogène. La figure (II 13) montre les différents exemples de courbes potentiel temps possibles [\*].

Avant de se stabiliser, le potentiel devient de plus en plus positif ou de plus en plus négatif (2a et 2b). Ce fait traduit dans le premier cas la formation d'un produit insoluble ou d'une couche passive à la surface protégeant ainsi le métal. Cette caractéristique définit la passivation. Dans le second cas le métal subit une attaque continue. L'attaque et la passivation peuvent ne pas être continues. L'attaque pourrait être suivie d'une passivation au bout d'un certain temps (2c) ; de même la passivation pourrait ne pas être complète, la couche protectrice se dissout et le matériau s'attaque (2d).



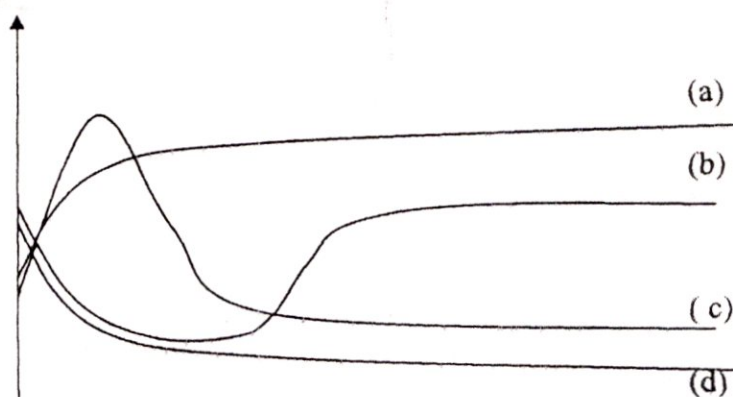


Fig II.13. Variations générales des potentiels de corrosion en fonction du temps.

Les tracés relatifs aux variations du potentiel en fonction du temps sont aussi d'un grand intérêt du point de vue établissement des séries galvaniques (ou le classement en fonction des potentiels de corrosion) essentiellement quand il s'agit d'un couplage de deux ou de plusieurs métaux, où les fonctionnements anodique et cathodique sont importants à connaître. Cependant, cette technique ne permet pas d'accéder à la cinétique réactionnelle ou à la vitesse d'attaque [\*].

### II.6.2. Courbes de polarisation

Les courbes de polarisation ou intensité potentiel traduisent quantitativement le comportement électrochimique de matériaux. Leur connaissance permet de prévoir un certain nombre de réactions de nature électrochimique, en particulier l'attaque des métaux (corrosion), et leur passivation [\*].

L'utilisation de ces tracés (volt ampérométriques) permet la détermination de la densité de courant de corrosion, donc l'estimation à un instant donnée de la vitesse de corrosion. Elle permet aussi, dans des conditions expérimentales convenablement choisies, d'apprécier la sensibilité à la corrosion localisée et la stabilité d'une couche protectrice.

Le principe consiste à imposer à l'échantillon étudié une tension choisie par rapport à une électrode de référence et à mesurer le courant qui en résulte, à l'état stationnaire, c'est le tracé potentiel statique. Cependant la plupart du temps, l'utilisation des tracés potentiel dynamiques avec une faible vitesse de balayage conduit à retrouver les valeurs obtenues en conditions stationnaires. La densité de courant de corrosion ( $i_c$ ) est déterminée à partir de la courbe de polarisation

$I = f(E)$  (ou  $\log I = f(E)$ ) soit par extrapolation des droites de Tafel jusqu'au potentiel de dissolution dans le cas des milieux désaérés, soit par mesure du palier de diffusion dans le cas des milieux aérés.

Cette valeur permet de calculer la vitesse de corrosion donnée par la relation :

$$V_c = \frac{A \cdot i_c}{n \cdot F \cdot \rho} \quad (2.1)$$

A : Masse atomique du métal exprimée en grammes/mole.

n : La valence

F : Faraday exprimé en Coulomb ( $F = 96500 \text{ C}$ )

$\rho$  : Masse volumique exprimée en  $\text{g/cm}^3$



Lorsque  $i_c$  est exprimée en  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , l'unité de  $V_c$  est généralement donnée en mm/an selon la formule :

$$V_c = 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{A \cdot i_c}{n \cdot \rho} \quad (2.2)$$

Cette méthode de détermination de la vitesse de corrosion, n'est théoriquement applicable que dans le cas de corrosion uniforme ou de corrosion galvanique, si toutefois la mesure des surfaces anodiques est possible. L'apparition des piqûres dans le cas de la corrosion localisée, est marquée par une brutale augmentation du courant correspondant à une faible variation de potentiel dans les courbes volt ampérométriques [\*]. Enfin, il est possible d'étudier à partir des courbes volt ampérométriques, les phénomènes de couplage galvanique, soit entre deux matériaux différents soit entre deux environnements différents.

### II.6.3. La corrosion atmosphérique

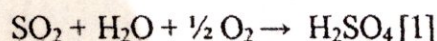
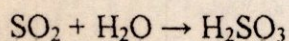
Comme son nom l'indique, la corrosion atmosphérique désigne la réaction de l'oxygène de l'air à température ambiante avec un métal lorsqu'à la surface de ce dernier l'humidité et les polluants forment un film d'électrolyte.

La vitesse de corrosion atmosphérique dépend de la vitesse des réactions partielles anodiques et cathodiques aux interfaces métal électrolyte et oxyde électrolyte. Elle est donc en ce sens comparable à la corrosion en milieu liquide à ceci près qu'il n'y a pas évacuation des produits de corrosion par l'électrolyte et que ce dernier peut éventuellement s'évaporer complètement lors de phases de séchage pour se reformer lors de phases d'humidité élevée.

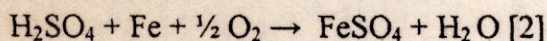
Le phénomène de corrosion atmosphérique va donc dépendre étroitement des polluants présents dans l'air ambiant et de son degré d'humidité.

#### Espèces polluantes contenues dans l'air ambiant

Les principaux polluants contenus dans l'air ambiant sont le dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$ , les différents oxydes d'azote  $\text{NO}_x$ , les chlorures  $\text{Cl}^-$  et les poussières. Du point de vue de la corrosion, les chlorures (surtout présents dans les régions maritimes) et le  $\text{SO}_2$  (provenant de la combustion du charbon et du pétrole) sont les espèces les plus importantes. Le  $\text{SO}_2$  est responsable des pluies acides car il forme, en réagissant avec l'eau, l'acide sulfureux  $\text{H}_2\text{SO}_3$  ou, avec l'eau et l'oxygène et en présence de catalyseurs comme les ions ferreux ou ferriques, l'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  selon les réactions suivantes :



Par réaction de l'acide sulfurique avec le fer on obtient le sulfate ferreux :



Les oxydes d'azote  $\text{NO}_x$ , qui se forment lors d'une combustion à haute température (dans les moteurs d'automobiles par exemple), ont une influence moins marquée.

#### Humidité de l'air ambiant

On distingue l'humidité absolue ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) qui indique la masse d'eau contenue dans un mètre cube d'air et l'humidité relative qui représente, exprimé en pour cent, le rapport de la pression partielle de vapeur d'eau à la pression de saturation [\*].

La pression de saturation, qui correspond à la pression de vapeur d'eau en équilibre avec de l'eau liquide, ou autrement dit à la pression de vapeur d'eau à partir de laquelle survient la condensation, dépend de la température.



La valeur de l'humidité relative (et en particulier la valeur de 100% correspondant à la condensation) pourra donc être différente pour une même humidité absolue suivant la valeur de la température ambiante, comme illustré à la Figure

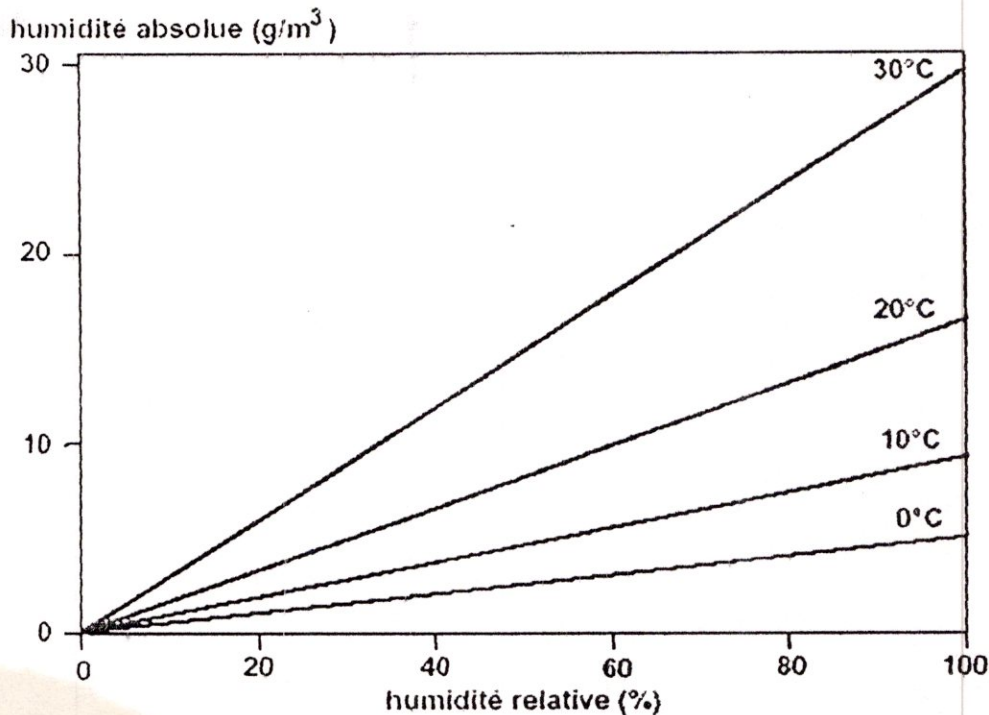


Fig II-14. Humidité relative et absolue pour différentes températures

Du point de vue de la corrosion, le paramètre significatif est donc l'humidité relative puisqu'elle détermine le degré d'humidité à partir duquel on assistera au phénomène de condensation nécessaire à la formation du film d'électrolyte à la surface du métal.

Cette condensation se produit en théorie pour une humidité relative de 100%, mais peut, sous certaine condition, se manifester à la surface d'un métal pour des valeurs apparemment inférieures.

Cela survient notamment lorsque la température du métal est inférieure à celle de l'air ambiant, lorsque sa surface est poreuse (les phénomènes de tension superficielle abaissant la pression saturante à l'intérieur d'un pore), ou lorsqu'elle contient des sels déposés.

La présence de sels déposés a une action double car d'une part elle réduit la valeur de la pression saturante et d'autre part crée une situation d'autant plus défavorable sur le plan de la corrosion que ces sels, par dissolution dans l'eau de condensation, peuvent conduire à la formation d'un électrolyte particulièrement agressif.

La Figure (II.15) montre l'évolution de la corrosion de l'aluminium en fonction de l'humidité

Relative pour une atmosphère. On constate ici que la corrosion devient importante dès que l'humidité relative atteint 75%.



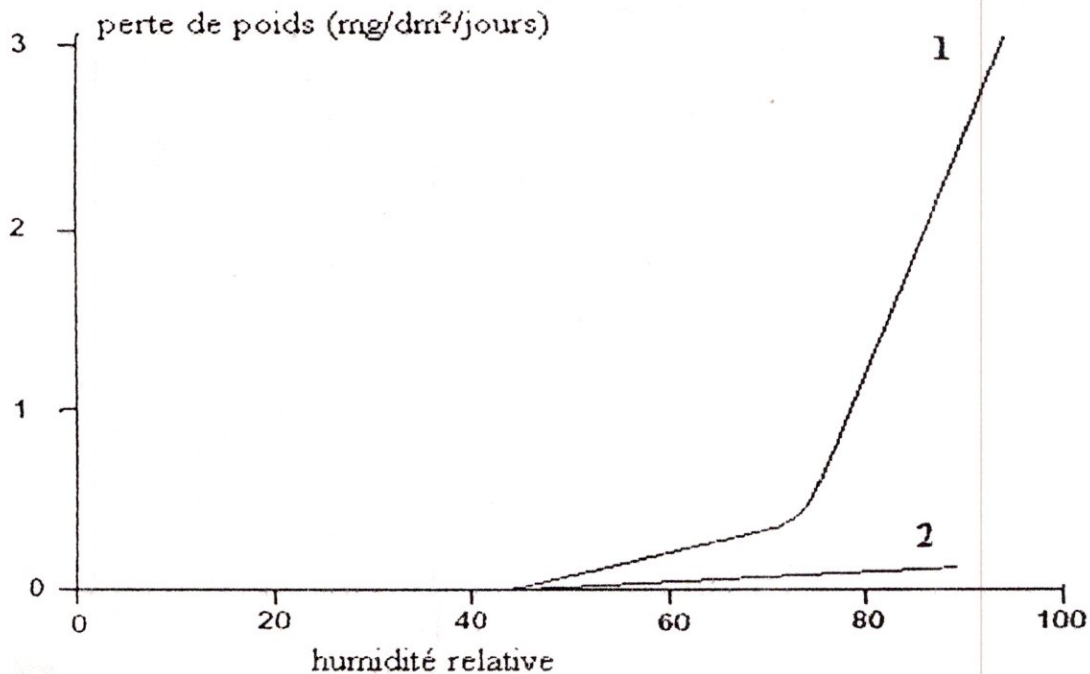


Fig II.15. Influence de l'humidité relative sur la corrosion atmosphérique de l'aluminium

### Caractérisation de la corrosion atmosphérique

Les normes ISO 9223 et 9226 définissent des critères permettant respectivement de caractériser une atmosphère et de définir son degré de corrosivité déterminé à partir de la vitesse de corrosion de métaux étalons.

Trois paramètres sont retenus pour la classification de l'atmosphère :

- La durée d'exposition à l'humidité (time of wetness)  $\tau$  : durée pendant laquelle l'humidité relative est supérieure à 80% et la température supérieure à 0° C. 5 catégories sont répertoriées, allant de t1 (< 10 h.an-1) à t5 (> 5500 h.an-1).

L'atmosphère de la côte Normande se classe en 5ème catégorie avec une valeur de  $t$  de 5750 h.an-1;

- La teneur  $P$  en dioxyde de soufre  $SO_2$  : exprimée soit directement en  $\mu g.m^{-3}$ , soit en fonction de sa vitesse de dépôt en  $mg.m^{-2}.j^{-1}$ . 4 catégories sont répertoriées, allant de P0 ( $P < 12 \mu g.m^{-3}$ ) à P3 ( $90 < P < 250 \mu g.m^{-3}$ ). Une atmosphère rurale non polluée présente une valeur de  $P$  inférieure à  $10 \mu g.m^{-3}$  alors qu'une valeur de  $P$  égale à  $350 \mu g.m^{-3}$  a été relevée pour l'atmosphère Londonienne en 1960;
- La teneur  $S$  en ions chlorures  $Cl^-$  : exprimée en fonction de leur vitesse de dépôt en  $mg.m^{-2}.j^{-1}$ . On distingue de même 4 catégories différentes allant de S0 ( $S < 3 mg.m^{-2}.j^{-1}$ ) à S3 ( $300 < S < 1500 mg.m^{-2}.j^{-1}$ ). Une atmosphère marine très sévère peut correspondre à une valeur de  $S$  supérieure à  $1500 mg.m^{-2}.j^{-1}$ .

Pertes de caractéristiques mécaniques (%)

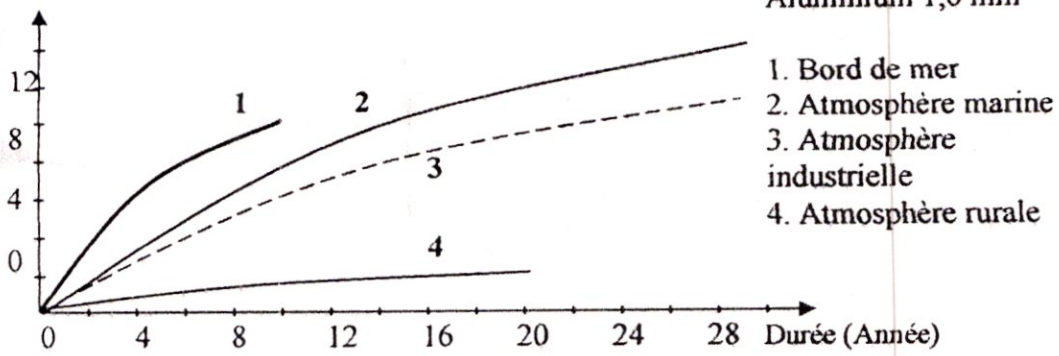
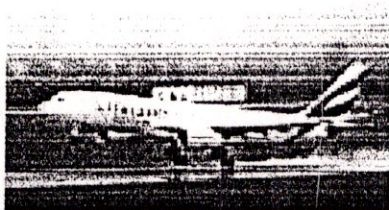


Fig II.16. Evolution de la corrosion atmosphérique de l'aluminium dans le temps

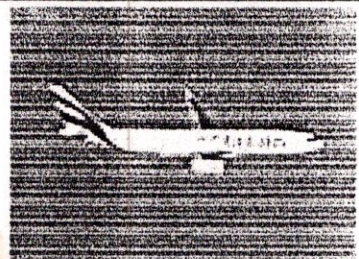
Telle que représentée à la Figure ci-dessus, la détermination de la vitesse de corrosion de l'aluminium pour différentes atmosphères.



# CHAPITRE III



## Etude anticorrosive Appliquée sur la structure





## III.1 PROTECTION CONTRE LA CORROSION

### III.1.1 Généralités

A. La corrosion est la destruction des métaux par des effets chimiques ou électrochimiques. Ces effets changent le métal en différents composants chimiques, ainsi la force de la structure d'avion peut être affecté par la corrosion.

B. La protection contre la corrosion est une des tâches les plus importantes pour maintenir l'avion dans un état sûr. Les étapes suivantes sont nécessaires pour un contrôle satisfaisant de la corrosion:

- entretien régulier,
- structure propre,
- l'identification initiale de la corrosion,
- l'enlèvement complet de la corrosion lorsque elle est détectée.
- régulièrement examiner la protection contre la corrosion appliquée sur la structure et rectifier immédiatement tous dommages détectés.

C. Des matériaux résistants à la corrosion et des traitements protecteurs sont employés dans la construction. Ceci est utilisé pour réduire la possibilité de corrosion.

Dans Quelques secteurs, par exemple sous les toilettes et les galettes, on utilise des traitements spéciaux d'anticorrosion.

D. Cette chapitre est divisée en:

- causes de la corrosion,
- types de corrosion,
- localisation de la corrosion,
- inspection pour la corrosion,
- traitement de la corrosion,
- types et procédures de protection contre la corrosion.

### III.1.2 Causes de la corrosion

A. La corrosion est une réaction électrochimique entre le métal et son environnement. La condition nécessaire pour cette réaction est l'existence d'une différence potentielle électrique.

des agents corrosifs comme:

- acides,
- alcalis,
- sels,
- l'atmosphère,
- l'eau,
- micro-organismes, favorisent la corrosion lorsque ils sont en contact avec la surface



## B. Agents Corrosifs

## - acides

La plupart des acides causeront la corrosion sur la plupart des alliages employés dans la construction d'un avion. La liste qui suit donne les acides qui peuvent rapidement causer la corrosion:

- - acide sulfurique (acide de batterie)
- - acides d'halogène (chlorhydrique, fluorhydrique et bromhydrique),
- - acides organiques tels que les déchets des animaux et humains.

## - alcalis :

Les alcalis ne causent pas habituellement la corrosion autant que les acides. Mais l'aluminium est très sensible aux solutions alkalis qui ne contiennent pas un inhibiteur de corrosion. La liste qui suit nous donne certaines solutions alkalis auxquelles les alliages d'aluminium sont particulièrement sensibles :

- - soude de lavage.
- - potasse.
- - chaux.
- Les autres solutions sont des alcali-ammoniaque, auxquels les alliages d'aluminium sont très résistants.

## - Sels :

La plupart des solutions de sel sont de bons électrolytes et peuvent causer la corrosion. Sur quelques alliages d'acier inoxydable la corrosion ne se produit pas par une solution de sel. Les alliages d'aluminium et les aciers sont très sensibles à quelques solutions qui contiennent de sel.

## - L'Atmosphère

- L'Atmosphère Industrielle :

L'atmosphère générale contient l'humidité et l'oxygène, qui sont les causes primaires de la corrosion. La corrosion des alliages ferreux se produit facilement dans l'atmosphère générale, si ils n'ont aucune protection. Il y a d'autres gaz et contaminants dans l'atmosphère qui causent également la corrosion, par exemple l'atmosphère dans des secteurs industriels et marins peut causer des problèmes spéciaux.

L'atmosphère dans les secteurs industriels contient fréquemment des composant de soufres oxydés et d'azote. Quand ces composants se mélangent à l'humidité ils engendrent un acide qui cause facilement la corrosion.



## L'Atmosphère Marine :

- l'eau :

L'atmosphère dans les secteurs marins contient des chlorures de sel, ou des gouttelettes d'eau saturée par le sel. La corrosion sur des alliages d'aluminium et de magnésium se produit très facilement dans ce type d'atmosphère. C'est parce qu'une humidité saline est un bon électrolyte.

L'eau contient des impuretés minérales et organiques, et des gaz, par exemple l'oxygène. La quantité de ces impuretés changera la force de corrosion de l'eau. L'eau de mer contient beaucoup de sels et causera très rapidement la corrosion sur une structure d'avion.

L'eau calcaireuse contient habituellement beaucoup d'alkalis et elle ne cause pas ainsi facilement la corrosion sur la plupart des métaux. Mais cette sorte d'eau cause facilement la corrosion sur les alliages d'aluminium (référez-vous au (2) de B du paragraphe 2).

## Micro-organismes :

Ils causent habituellement de l'eau dans les réservoirs de carburant d'avion, cette eau peut contenir des oxydes de fer et des sels minéraux. Cette eau peut également contenir des micro-organismes, ces organismes transforment l'eau en boue. Cette boue augmentera le taux de corrosion si elle se produit.

**III.1.3 Types de corrosion :**

La corrosion est un effet électrochimique qui change le métal en composants oxides, hydroxydes ou sulphatiques.

Il y a deux procédures électro-chimique :

- - le métal s'oxyde et change en anodique.
- - l'agent corrosif change catholiquement.

La corrosion commence habituellement sur la surface du matériel mais les effets initiaux ne peuvent pas toujours être détectés visuellement. Les paragraphes suivants donnent des exemples des différents types de corrosion, qui peuvent se produire sur la structure d'avion.

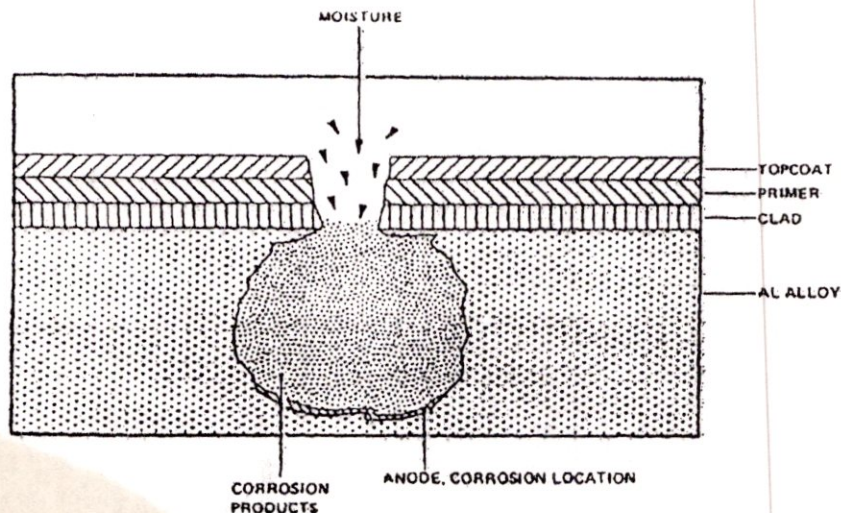
## A. Corrosion piquetée (schéma III.1) :

La corrosion piquetée commence sur la surface d'un matériel, et puis se prolonge verticalement dans le matériel. Ce type de corrosion est dangereux en raison de la prolongation verticale qui diminue la force matérielle. Vous n'obtenez pas une grande indication de ce défaut sur la surface du matériau. Ce type de corrosion peut être le point de départ pour la corrosion inter granulaire (voir paragraphes 3.c).



**NOTE:**

La corrosion piquetée ne devrait pas être confondue avec grenailage à écrouissage, par exemple, pour les revêtements inférieurs d'aile dans certains cas. Grenailage à écrouissage produit l'effet 'de peau d'orange' sur la surface, et n'est pas toujours d'un aspect uniforme.



8 5 6 5 1 2 2 0 0 0 A A M O - 3 7

Typical Pitting Corrosion

**Fig III.1 Corrosion piquetée**



## B. Corrosion filiforme (schéma III.2)

La corrosion filiforme se produit sur les plaques d'aluminium. Ce type de corrosion peut commencer aux rivets et se prolonge le long de la surface de la feuille peinte au-dessous de la peinture. Les dommages ne peuvent pas être vus jusqu'à ce que la corrosion casse la couche de peinture.

## C. Corrosion inter granulaire (schéma III.3) :

La corrosion inter granulaire entre habituellement dans le noyau du matériel le long des Frontières de grain avec peu ou pas d'indication sur la surface. Ce type de corrosion peut également être vue comme un réseau de la corrosion ou des fissures sur la Surface du métal.

Ce type très dangereux de corrosion peut rendre la structure très faible avant n'importe quelle indication visuelle. Certains alliages d'aluminium de haute résistance sont particulièrement sensibles à la corrosion inter granulaire quand le matériel est soumis à une contrainte.

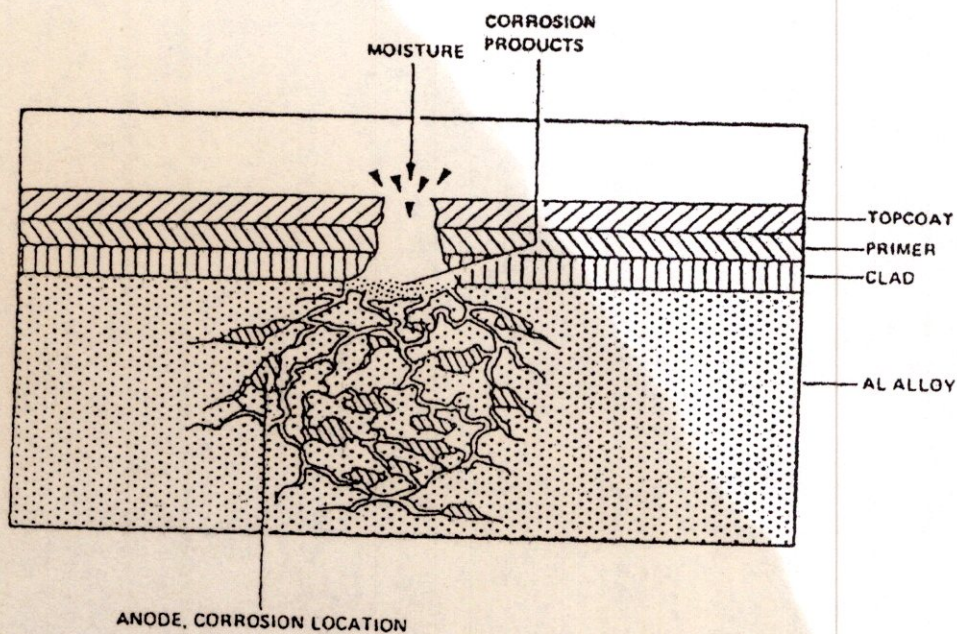


Fig III.2 Corrosion filiforme



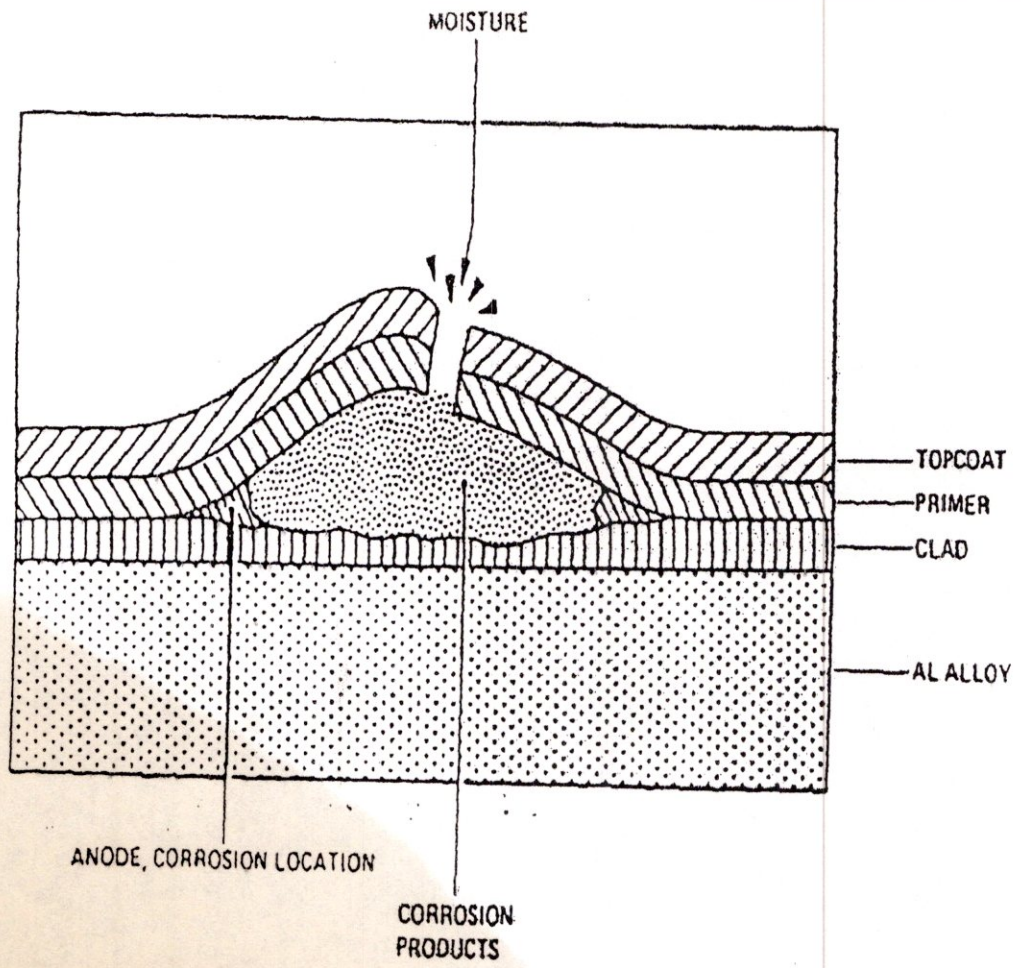


Fig III.3 . Corrosion inter granulaire



## D. Corrosion galvanique (schéma III.4) :

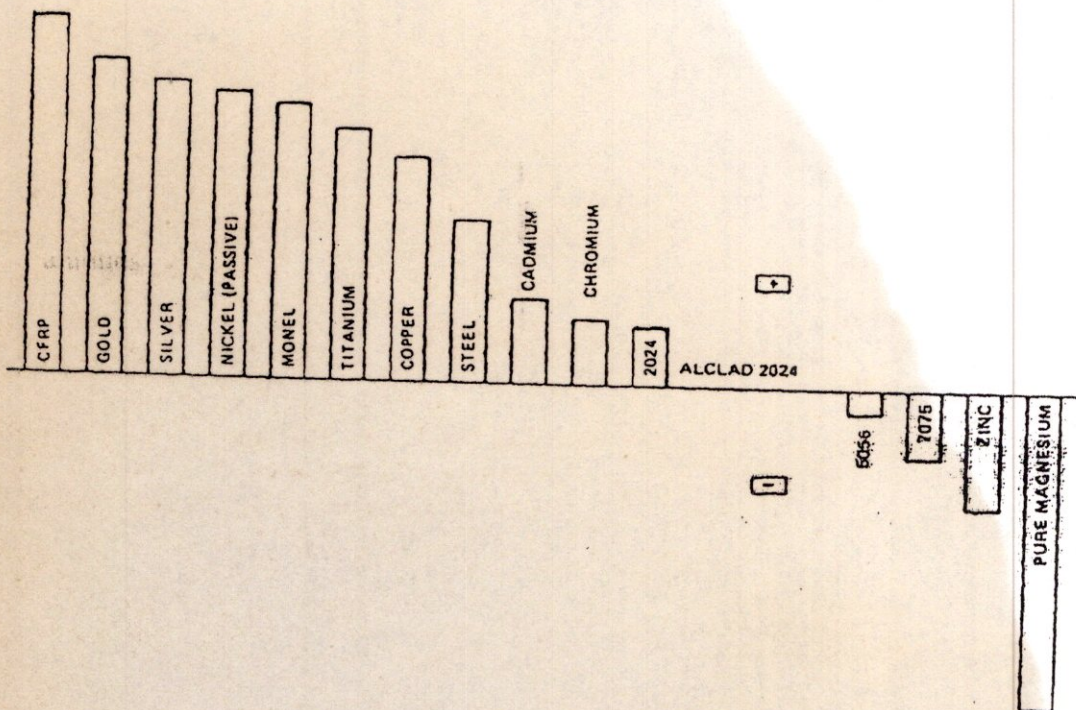
- ce type de corrosion peut se produire entre deux métaux différents ou certains Métaux et fibre de carbone (tableau 1), quand ils se touchent et lorsque l'humidité est présente entre eux. La différence de potentielle entre le matériel et l'humidité diélectrique cause des effets galvaniques.

L'intensité des effets de cette corrosion n'est pas toujours proportionnellement à ces Différence. La corrosion galvanique peut être vue comme des particules de poudre blanche ou grise

sur des garnitures, recouvrant les joints rivetés, et autre pièces structural.

- la table suivante montre les différences de potentielles électriques des matériaux par rapport à l'aluminium 2024. Plus la différence du potentiel électrique est grande entre les matériaux plus le risque de corrosion galvanique est élevé.

Si les différents matériaux se touchent le plus anodique est le plus exposé à la corrosion.





## E. Corrosion par effort (la figure III.5) :

Une charge de tension stable, et en même temps les conditions corrosives, peuvent causer la corrosion par effort. Ce défaut en métal est connu en tant que corrosion sous tension.

Les charges opérationnelles ou structurales extérieurement appliquées causent habituellement ces derniers efforts.

Corrosion piquetés peut donner une augmentation locale à l'effet de la corrosion par effort, et peut causer la prolongation de toutes les fissures qui se sont produites

## F. Corrosion biologique (schéma III.6) :

Une grande quantité de micro-organismes tels que les bactéries de mycètes et d'algues peut causer ce type de corrosion. Ces micro-organismes peuvent habituellement se produire:

- - dans les secteurs avec les fluides souillés.
- - dans des climats chauds et humides.

Les micro-organismes, ou les mycètes, ainsi que l'humidité, augmentent les effets électrochimiques.

Ceci donnera une polarisation de la cathode, ce qui peut causer une corrosion illimitée.

## G. Corrosion de rongement (schéma III.7) :

Quand deux surfaces (dont une est métallique) frottent, le rongement de la corrosion peut se produire. Avec ce type de corrosion la surface protectrice du matériel est endommagé et des particules du métal sont enlevées de la surface du matériau, les particules augmenteront l'effet abrasif entre les deux surfaces et endommageraient plus le matériel. Seulement un mouvement très petit est nécessaire, par exemple, cela est donné par l'élasticité normale des matériaux, pour causer la corrosion de rongement. Il est également possible que ce type de corrosion peut faire fendre et causer la fatigue.

## H. Corrosion d'exfoliation (schéma III.8) :

La corrosion d'exfoliation est un type de la corrosion inter granulaire, il se produit lorsque la corrosion est aux frontières de grain dessous, la surface soulève les grains métalliques sur la surface. La corrosion d'exfoliation se produit fréquemment sur les sections expulsées parce que la densité de grain est habituellement moins que sous les formes roulées.



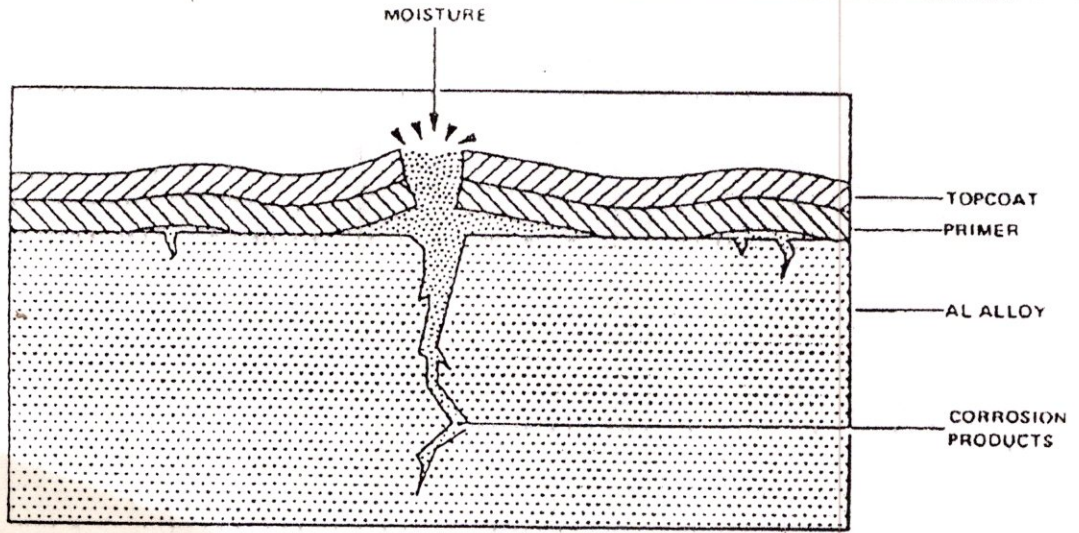


Fig III.4 Corrosion galvanique

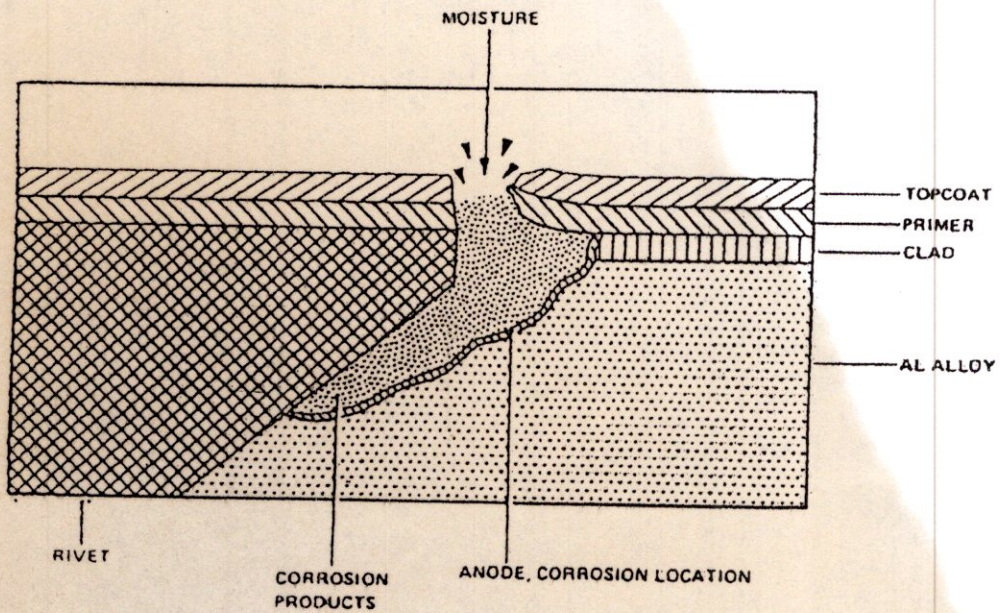


Fig III.5 Corrosion par effort



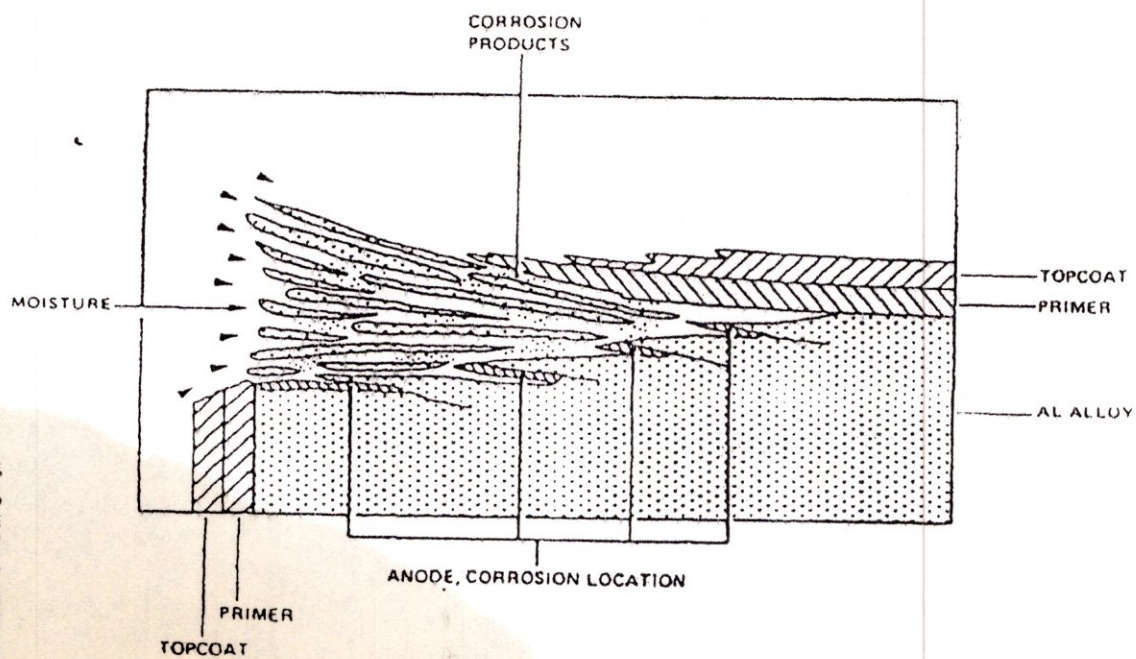


Fig III.6 Corrosion biologique

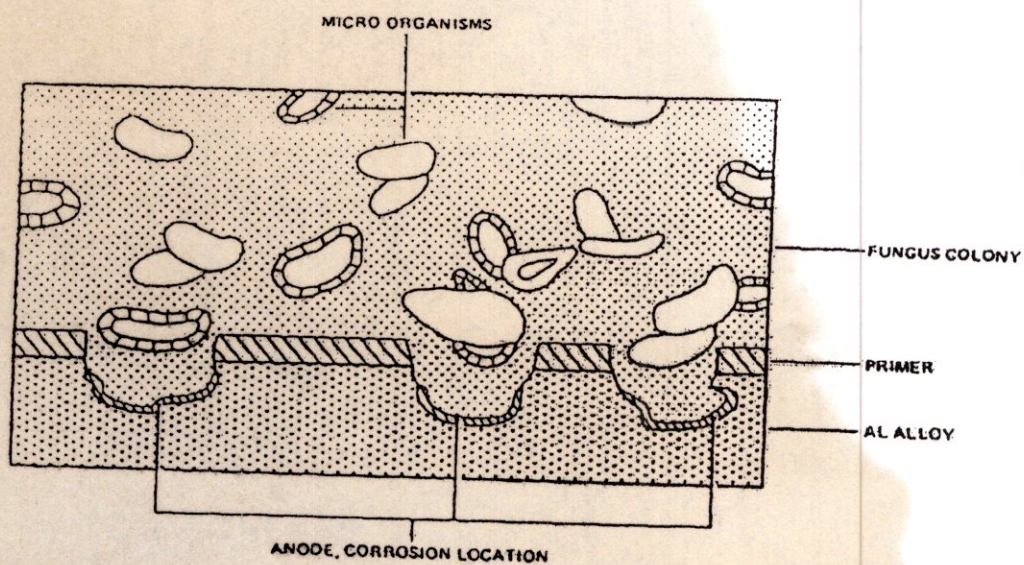


Fig III.7 . Corrosion de rongement



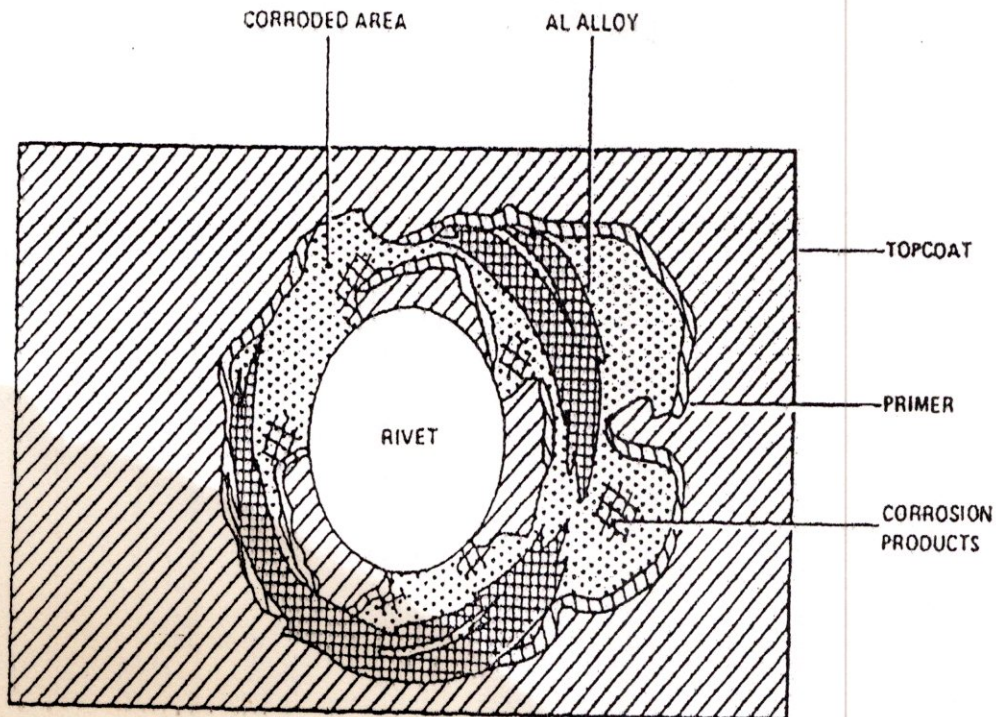


Fig III.8 . Corrosion d'exfoliation

#### III.1.4 Localisation de la corrosion :

A. Les conditions, qui suivent, ont une influence sur endroit et le temps qui favorise l'apparition de la corrosion :

- - densité des agents corrosifs.
- - propriétés des protections de corrosion.
- - résistance du matériel à la corrosion.

Ces conditions ne sont pas identiques les secteurs de la structure de l'avion. Il y a des secteurs où la corrosion peut être prévue plus tôt que d'autres.

B. Le chapitre 51-21-00, les schémas 1 et 2, nous montrent les secteurs de la structure où la corrosion peut se produire plus tôt que prévu, exemple : toilettes ou compartiments de rangement de batterie. Ces secteurs sont indiqués comme catégorie C.



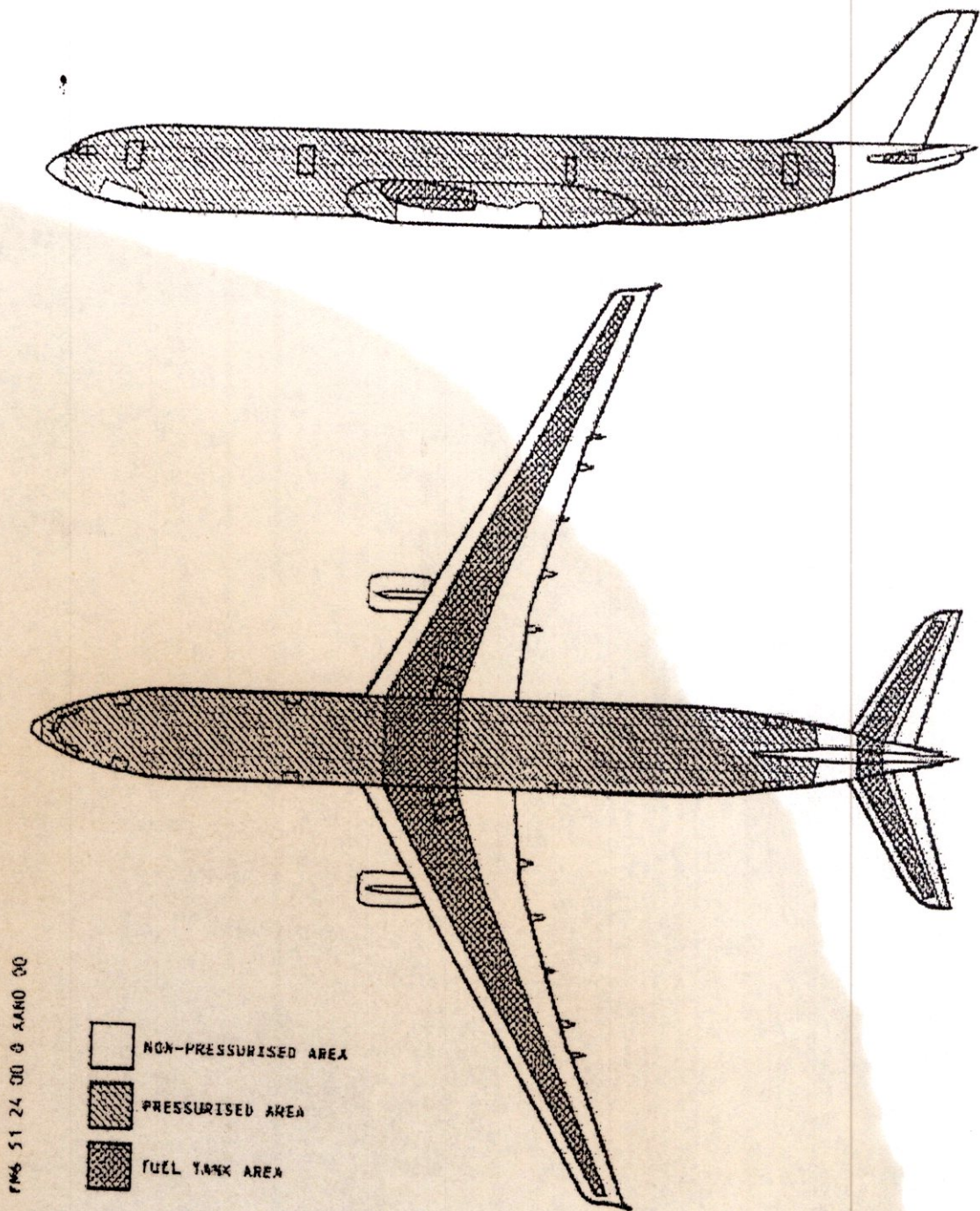


Fig III.9 Secteurs les plus exposés à la corrosion



### III.1.5 inspection de la corrosion :

A. L'identification de la corrosion initiale et son traitement augmenteront la sûreté et la durée de vie de l'avion. Cela est possible si l'inspection pour la corrosion est faite régulièrement et avec un maximum de précision.

B. La corrosion peut être trouvée avec les méthodes suivantes:

- - inspection visuelle,
- - inspection par un colorant pénétrant.
- - inspection par ultrason.
- - inspection par courant de Foucault,
- - inspection par rayon X.

Les procédures applicables sont données dans le manuel de contrôle non destructif (CND).

C. Vous pouvez fréquemment trouver la corrosion si vous faites une inspection visuelle soigneuse.

la liste qui suit nous donne une partie des équipement que nous pouvons employer pour faire une inspection visuelle:

- - loupe,
- - miroirs,
- - endoscope, fibres optique,
- - autre équipement équivalent.

D. Quand nous inspectons une surface qui est peinte, nous pouvons voir habituellement la corrosion comme:

- - une surface écaillée ou boursouflée,
- - un changement de la couleur,
- - boursouffures dans la peinture.

Quand nous avons la corrosion sur une surface métallique nous verrons habituellement le secteur obscurci et une surface piquée. Habituellement nous verrons également le blanc, gris ou de la poussière ou des particules rouges.

### III.1.6 Enlèvement de la corrosion :

#### III.1.6.1 Généralités

A. Toute la corrosion détectée devrait être immédiatement et entièrement enlevé. C'est nécessaire parce que la corrosion qui demeure causera une nouvelle corrosion et diminuera la résistance de la structure.

Les procédures applicables pour la vérification et l'enlèvement de la corrosion sont données dans le manuel de contrôle non destructif (CND).



B. Les procédures applicables et l'équipement nécessaire sont donnés dans le même manuel,

C. Après que la corrosion soit entièrement enlevée l'ampleur des dommages doit être examinée et comparé aux limites permises de dommages.

D. Assurez-vous que la protection extérieure de secteur de réparation est correcte pour éviter une nouvelle corrosion.

### III.1.7 Types des procédures de protection contre la corrosion :

- la résistance maximale possible à la corrosion est donnée à l'avion, avant qu'elle soit livré. La bonne résistance à la corrosion de la structure l'avion est le résultat de l'interaction de différents types de protections contre la corrosion les différents types de protection sont divisés en :
  - - prétraitements,
  - - Peignez Les Enduits,
  - - Enduits Spéciaux,
  - - mastics.
- les paragraphes suivants fournissent des information concernant :

Paragraphe C. - Installation D'Attache

Paragraphe D. - états spéciaux des surfaces de contact

Paragraphe E. - Drainage De Fuselage

Paragraphe F. - Entretien Préventif

B. Types de protection de corrosion :

- prétraitements :
  - Le prétraitement est le traitement initial du métal et il se compose des taches suivantes :
    - pour augmenter les propriétés résistantes à la corrosion du métal par des procédures chimiques.
    - pour donner une bonne surface pour l'adhérence de la peinture suivant les enduits.
    - un procédé qui est employé pour empêcher la corrosion doit appliquer une mince couche de métal différent.

Cette couche a un électrolytique de potentiel inférieur que le métal principal. Si la corrosion se produit elle enlèvera la couche mince d'abord. Ceci est désigné sous le nom de la corrosion sacrificatoire.

- Le tableau 2 nous donne les prétraitements qui sont habituellement employés pour donner la résistance maximum contre la corrosion. Pour des détails de chaque traitement et son utilisation on se rapportent au manuel du CND.



MATERIAL	PRETREATMENT	REMARKS
ALUMINUM ALLOYS	CHROMIC OR SULPHURIC ANODIZING	ELECTROLYTICAL TREATMENT, THE SURFACE GETS AN OXIDE COATING
	CHEMICAL CONVERSION COATING	CHEMICAL TREATMENT, SAME FUNCTION AS ANODIZING
	WASHPRIMER	USUALLY USED IN FIELD REPAIRS
STEEL ALLOYS	CADMIUM PLATING	ELECTROLYTIC APPLICATION OF CADMIUM SACRIFICIAL PROTECTION
	PHOSPHATIZATION	CHEMICAL TREATMENT, APPLICATION OF ZINC OR MANGANESE PHOSPHATES SACRIFICIAL PROTECTION
	HARD CHROMIUM OR NICKEL PLATING	ELECTROLYTICAL TREATMENT, PREVENT A CONTACT OF MOISTURE AND OXYGEN WITH THE STEEL ALLOY, HIGHLY RESISTANT TO WEAR, LOW COEFFICIENT OF FRICTION
	SILVER PLATING	ELECTROLYTICAL TREATMENT, GOOD RESISTANCE AGAINST FRETTING CORROSION UNDER HOT CONDITIONS

MATERIAL	PRETREATMENT	REMARKS
CORROSION RESISTANT STEEL	CADMIUM PLATING	USED WHEN IN CONTACT WITH ALUMINUM ALLOYS, DECREASES GALVANIC EFFECTS, SACRIFICIAL PROTECTION
	ZINC SPRAYING	THIN LAYER OF PURE ZINC; USED WHEN IN CONTACT WITH ALUMINUM ALLOY, DECREASES GALVANIC EFFECTS, SACRIFICIAL PROTECTION
TITANIUM	ANODIZING	ELECTROLYTICAL TREATMENT, DECREASES GALVANIC EFFECTS



## Application Des Enduits

A. L'application des enduits peut être divisée et avoir les procédures suivantes :

1-amorce:

L'amorce augmente les propriétés résistantes de corrosion parce qu'elle contient des inhibiteurs de corrosion.

L'amorce protège également la surface contre les agents corrosifs et donne une bonne surface pour l'adhérence de la couche d'enduit à appliquée.

2-couche Supérieur:

La couche de la peinture supérieure ou de finition protège les couches de l'amorce et donne à l'avion l'aspect nécessaire (aspect aérodynamique).

Les chapitres suivants vous fournissent des informations sur les enduits et leur utilisation :

CHAPTER	CONTENTS
51-23-00	PAINT COATING GENERAL
51-23-10	PAINT BUILDUP AND AREAS, INFORMATION ABOUT THE APPLICABLE PAINT COATINGS
51-75-10	REPAIR OF PAINT COATINGS

3 Enduits Spéciaux :

(a) Des enduits spéciaux sont appliqués sur des secteurs qui exigent une protection spéciale contre la corrosion. Deux types d'enduits spéciaux sont employés et ils ont les fonctions suivantes :

1-Enduit de répulsif de l'eau de :

Ils sont fabriqués à partir de la silicone, libre matériau organique frais avec comme base l'huile minérale qui repousse l'humidité.

2-Composant préventif de la corrosion :

Ils ont une couleur foncée comme la graisse, ils se durcissent après leurs applications. Cet enduit contient des Inhibiteur de corrosion qui se protège Contre les agents corrosifs.

(b) Pour plus d'information sur ces enduits et leurs domaines d'application on se réfère à chapitre 51-23-10 et à 51-23-20 de l'AMM.



## 4 Les mastics :

Les mastics ont beaucoup de fonctions sur l'avion. Ceux qui sont employés pour la protection contre la corrosion ont les fonctions suivantes:

- 1 remplissage des joints externes de la structure d'avion pour s'assurer que l'eau n'entre pas dans la structure.
- 2 remplissage des joints des boulonnés ou des rivetés pour s'assurer que les liquides n'entrent pas dans les joints
- 3 pour empêcher la corrosion (action galvanique) entre différents métaux.
- 4 pour empêcher la fatigue, les efforts ou les vibrations entre les parties de la structure peut causer la corrosion par frottement.
- 5 pour niveler les chemins des drains aux trous de drainages.

Pour certains secteurs indiqués de l'avion, par exemple la coquille inférieure, la couche protectrice est en mastic.

Cette couche protège la couche de mastic contre d'autres matières tel que : carburant, huile hydraulique, huile de moteur et les fluides des toilettes et des offices). On se réfère au 51-23-20 pour plus d'informations sur cette couche protectrice.

Pour des informations sur les mastics et les réparations des mastics on se rapporte au 51-24-00, 51-76-10 et 51-76-20.

## C. Traitement protecteur des attaches pendant l'installation :

si les différents métaux se touchent, la corrosion galvanique se produit.

des attaches utilisées ne sont pas toujours faites du même métal que les parties structurales en raison de la force qu'ils doivent supporter. De ce fait une protection contre la corrosion galvanique est nécessaire.

les attaches sont habituellement traitées préalablement par le fabricant. On s'assure que les attaches sont protégées et lubrifiées avant l'installation comme il est indiqué au chapitre 51-40-20.

là où la corrosion galvanique doit être empêchée, les attaches sont dedans calées avec du mastic.

des informations sur les mastics applicables, leur utilisation et leurs applications, le procédé d'installation est donné dans le chapitre 51-24-00, 51-76-10 et 51-76-20.

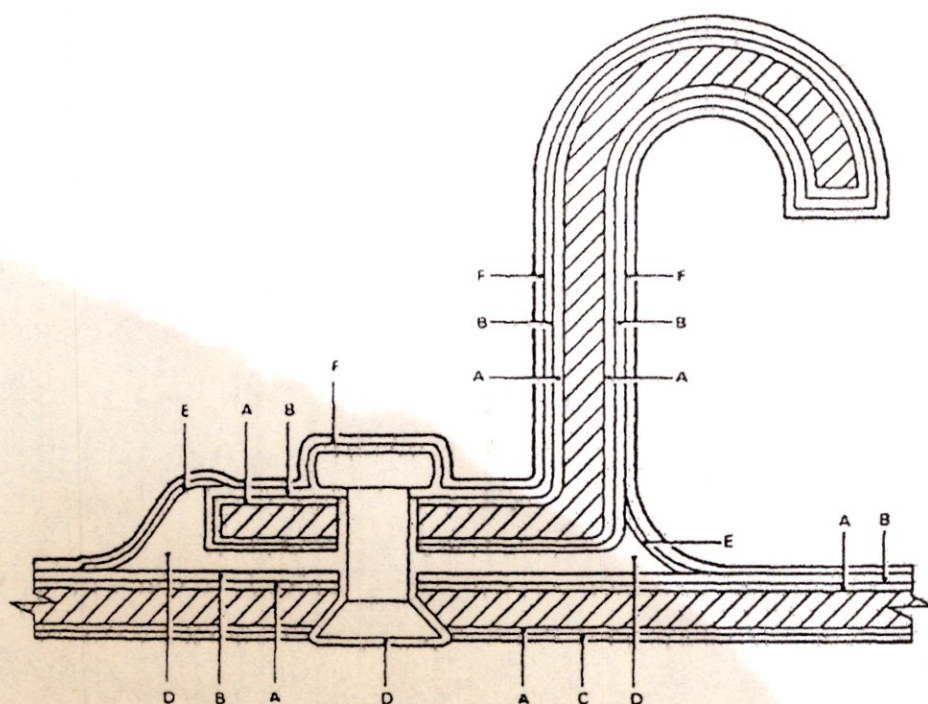
## D. Surfaces de contact :

les surfaces de contact sont très sensibles à la corrosion parce que l'humidité et la contamination peut entrer entre les surfaces et causer la corrosion. Si des pièces jointes sont faites de différents métaux, la corrosion galvanique apparaît dans les conditions qui sont décrites précédentes.

Tous les surfaces de contact, coutures et joints statiques doivent être remplies avec un mastic qui est appliquée à chaque surface avant l'installation. Pour l'utilisation du mastic correct et son application on se rapporte à 51-24-00, 51-76-10 et 51-76-20.

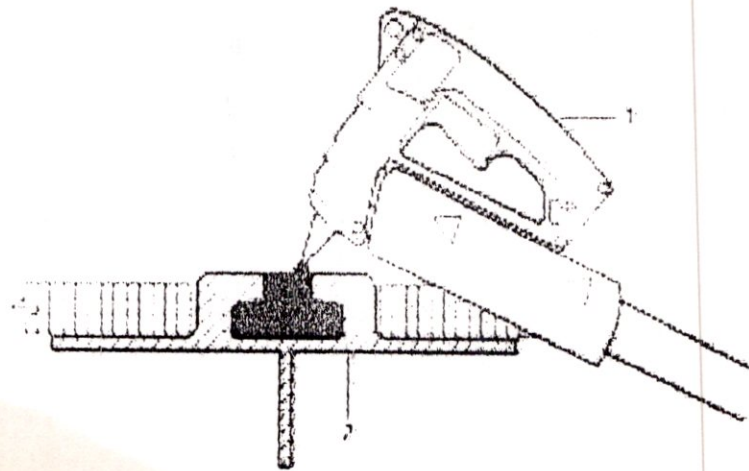
La figure 9 montre une protection typique de la coquille inférieure du fuselage, où on peut voir la protection complète des surfaces de contact.





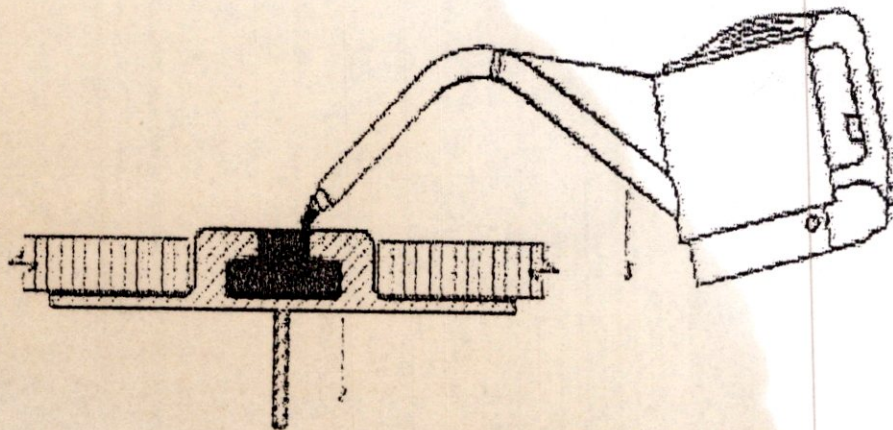
- A = ACIDE CHROMIQUE ANODISANT  
 B = PEINTURE INTERNE (COUCHE SUPÉRIEUR ÉPOXYDE D'AMORCE + DE POLYURÉTHANE)  
 C = PEINTURE EXTERNE (AMORCE ÉPOXYDE + AMORCE DE LAVAGE + AMORCE DE POLYURÉTHANE + MANTEAU SUPÉRIEUR DE POLYURÉTHANE)  
 D = MATÉRIAU DE D'ÉTANCHÉITÉ  
 E = VERNIS MOU (NYCOTE)  
 F = ENDUIT RÉPULSIF DE L'EAU






**B**

EXAMPLE OF THE APPLICATION  
OF MATERIAL NO. 15-010 WITH  
THE COUPOIT



NOTE:

 = MATERIAL NO. 15-010 (DEMONTAGE)



## E. Drainage de fuselage (schémas III.10 et III.11) :

Pendant Les vols normaux, les liquides peuvent se rassembler dans la partie inférieure de la coquille de fuselage. Ces liquides peuvent être provoqués par condensation ou fuite des circuits de bord. Il est très important que ces liquides ne reste pas dans la coquille de fuselage parce qu'ils peuvent causer la corrosion.

Pour s'assurer que les liquides qui se rassemblent dans le fuselage sont vidangés du fuselage, les procédures suivantes sont employées:

- des trous de drainage sont construits dans ces parties du fuselage qui sont non pressurisé en vol
- des soupapes de vidange spéciales (schéma III.11) sont installées dans ces pièces du fuselage qui sont pressurisés en vol.

Les trous de drainage et les soupapes de vidange sont habituellement à la partie la plus inférieure de fuselage.

il est important que tous les liquides non désiré aboutissent aux trous de drainage ou aux valves. La structure du fuselage inférieur est construite de sorte que le chemin est donné pour ces liquides. Quand on fait une réparation on s'assure qu'on garde ces chemins, et ceux des matière non désirées non bloqué. il est nécessaire d'appliquer le mastic correctement pour garder ces chemins de drainage.

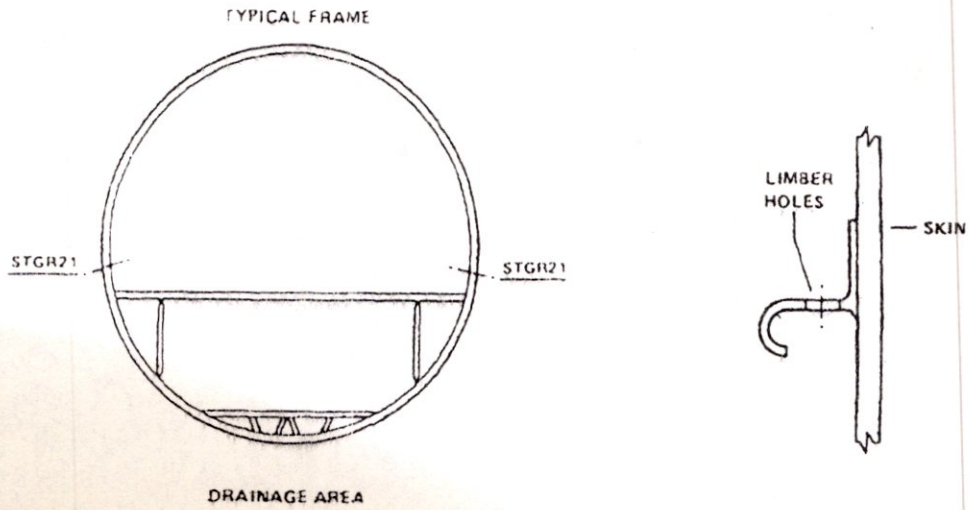
La figure 10 nous montre des exemples des chemins de drainage dans la structure. Pour plus D'informations sur le drainage, la localisation et l'entretien on se rapporte au chapitres appropriés du manuel d'entretien des avions (AMM).

## F. Entretien Préventif /

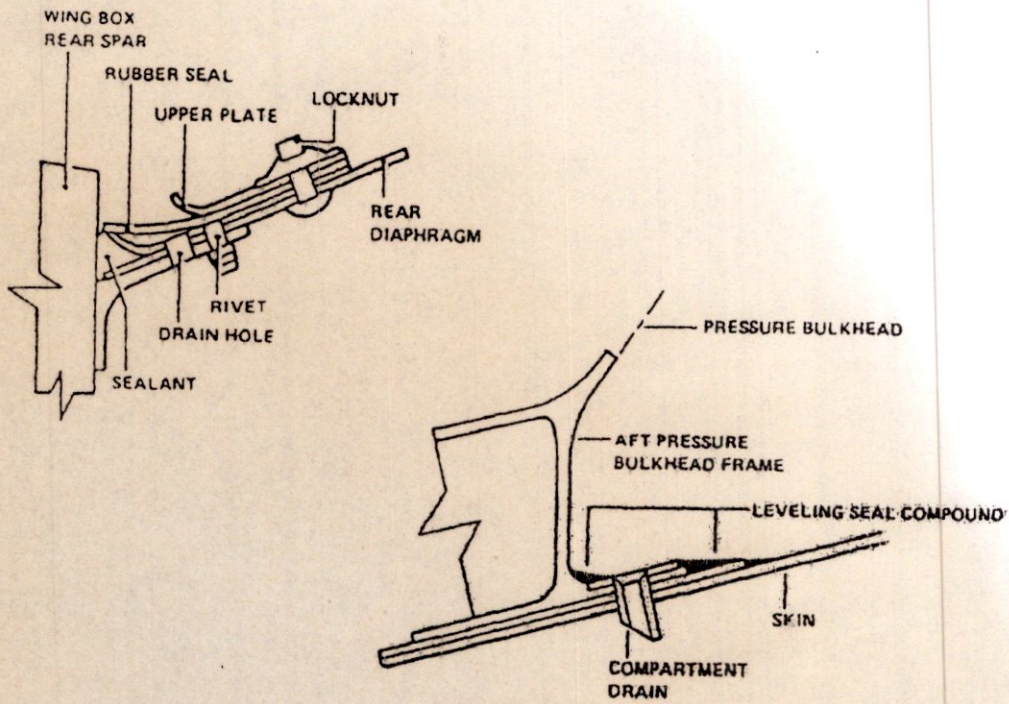
un empêchement satisfaisant et complet de la corrosion exige, en plus de la protection de la corrosion existante, un entretien préventif. Par exemple un lavage régulier du revêtement externe augmente la résistance à la corrosion, et maintient la protection contre la corrosion.

pour plus d'informations sur l'entretien préventif on se réfère au recommandations de prévention de la corrosion dans le document de planification d'entretien (MPD).





NOTE: LIMBER HOLES THROUGH STRINGERS ARE NECESSARY BETWEEN EACH FRAME, WHERE NATURAL DRAINAGE IS NOT POSSIBLE



86 61 22 00 0 AWM 0-37

Fig III.10 Drainage de fuselage



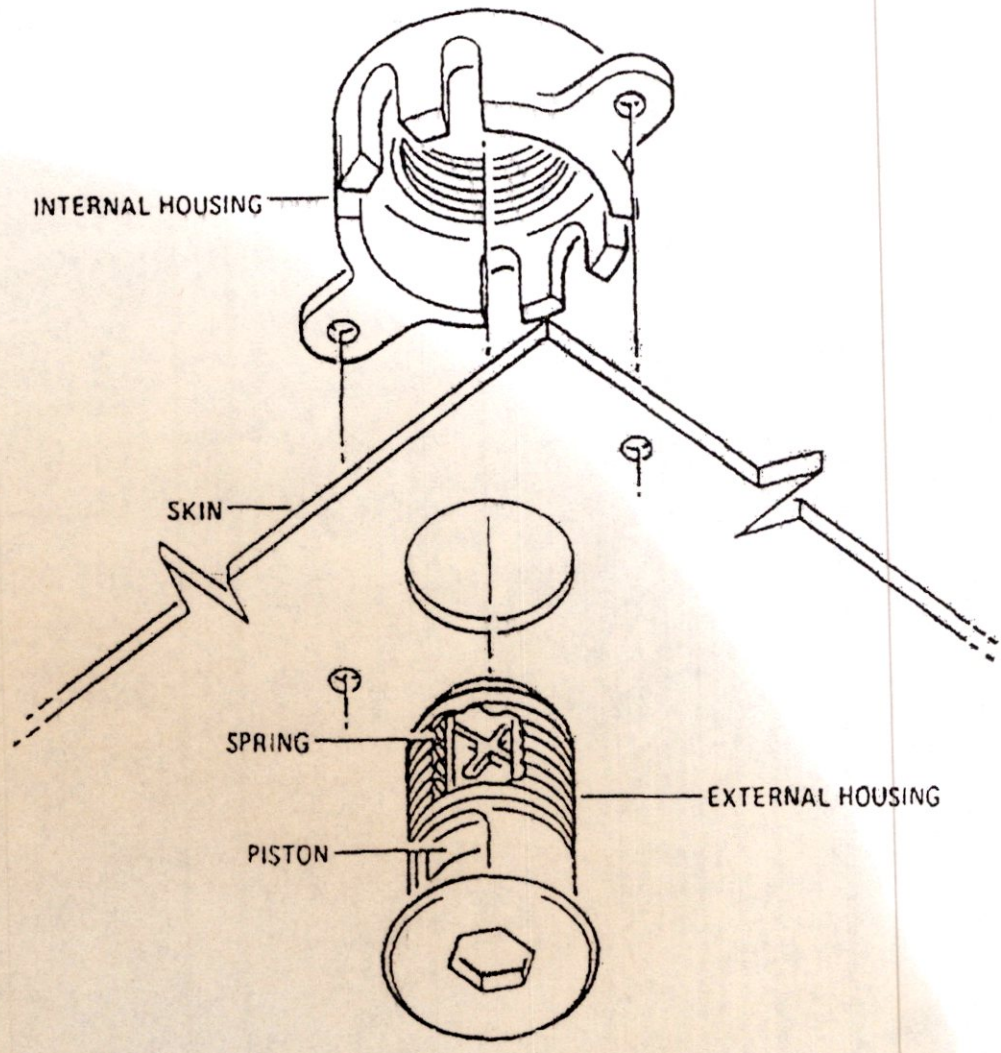


Fig III.11 Drainage de fuselage



## Conclusions

La corrosion des métaux et alliages ne pouvait être naturellement qu'une introduction à tous les autres articles traitant avec plus de précision soit de la corrosion des métaux, soit de l'utilisation des métaux vis-à-vis du risque de corrosion, nous avons dû survoler rapidement un très grand nombre de concepts. À lui seul, cette étude pourrait en effet faire l'objet d'un de ces gros ouvrages sur la corrosion. Il n'était donc pas question d'approfondir, mais simplement de faire pressentir les grands principes de la corrosion, et ce de manière naturelle et la plus simple possible.

Au-delà, à partir de ces deux cas de base que sont la corrosion uniforme et les trois formes de corrosions localisées, on peut ensuite construire la totalité du reste de la corrosion, par interaction avec la métallurgie ou avec la mécanique du solide, du fluide ou du contact, ou encore avec des chimies de milieu particulières comme en corrosion bactérienne. On peut également envisager toutes les combinaisons possibles de ces cas de base entre eux. Ainsi, on peut avoir de la corrosion galvanique et la protection cathodique à propos de chacun d'entre eux.

Pour point d'application sur l'A330-200, on clarifie des deux méthodes les plus largement utilisées (mastic, Enduits Spéciaux) de balayer la corrosion dans le domaine aéronautique.

En effet, il ne faut pas oublier qu'un problème de corrosion est d'abord un problème industriel, et que sa résolution demande une collaboration étroite entre des spécialités diverses dont la corrosion. Une telle collaboration demande donc un minimum de compréhension mutuelle, et cette étude avait aussi pour but de permettre ce dialogue.



## BIBIographie

[\*] – BFE magister Melle : BOUDJELLAL H.

AMM: manuel de maintenance de l'avion A330.

Technique d'ingénieur .

[www.airbus.com](http://www.airbus.com).