



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

# BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 29 mai 2008

## RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



### **BEAD-air-M-2007-018-I**

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Date de l'événement</b> | <b>03 octobre 2007</b>                          |
| <b>Lieu</b>                | <b>Base aéronautique navale de Nîmes-Garons</b> |
| <b>Type d'appareil</b>     | <b>Embraer 121 A Xingu</b>                      |
| <b>Immatriculation</b>     | <b>n°79</b>                                     |
| <b>Organisme</b>           | <b>Marine Nationale</b>                         |
| <b>Unité</b>               | <b>Flottille 28F</b>                            |

## **AVERTISSEMENT**

### **COMPOSITION DU RAPPORT**

Les faits, utiles à la compréhension de l'événement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'analyse des causes possibles de l'événement fait l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes certaines ou possibles. Enfin, dans le dernier chapitre, des propositions en matière de prévention sont présentées.

### **UTILISATION DU RAPPORT**

L'objectif du rapport d'enquête technique est d'identifier les causes de l'événement et de formuler des recommandations de sécurité. En conséquence, l'utilisation de la deuxième partie de ce rapport et des suivantes à d'autres fins que celle de la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

---

### **CREDITS PHOTOS ET ILLUSTRATIONS**

Page 1 (couverture) : ©SIRPA Marine.

Page 17, 18, 19, 20, 21, 22 : BAN de Nîmes-Garons.

Page 18, 19, 20, 22 : BEAD-air.

Page 49, 50 : CEAT.

## TABLE DES MATIERES

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Avertissement</i> .....   | <b>2</b>  |
| <i>Table des matières</i> .....  | <b>3</b>  |
| <i>Glossaire</i> .....   | <b>5</b>  |
| <i>Synopsis</i> .....  | <b>6</b>  |
| <b>1 Renseignements de base</b> .....  | <b>8</b>  |
| 1.1 Déroulement du vol.....  | 8         |
| 1.1.1 Mission .....  | 8         |
| 1.1.2 Déroulement .....  | 8         |
| 1.1.2.1 Mission .....  | 8         |
| 1.1.2.2 Préparation du vol.....  | 8         |
| 1.1.2.3 Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'événement .....                                 | 8         |
| 1.1.3 Localisation .....   | 10        |
| 1.2 Tués et blessés.....   | 10        |
| 1.3 Dommages à l'aéronef .....   | 10        |
| 1.4 Autres dommages.....   | 10        |
| 1.5 Renseignements sur le personnel .....  | 11        |
| 1.5.1 Membres d'équipage de conduite.....  | 11        |
| 1.5.1.1 Commandant de bord.....  | 11        |
| 1.5.1.2 Pilote stagiaire aux commandes au moment de l'événement.....   | 12        |
| 1.5.2 Autres personnels : pilote stagiaire n'étant pas aux commandes.....                                      | 12        |
| 1.6 Renseignements sur l'aéronef .....   | 13        |
| 1.6.1 Maintenance .....  | 14        |
| 1.6.2 Carburant.....   | 15        |
| 1.6.3 Autres fluides .....   | 15        |
| 1.7 Conditions météorologiques.....  | 16        |
| 1.7.1 Prévisions .....   | 16        |
| 1.7.2 Observations.....  | 16        |
| 1.8 Télécommunications .....   | 16        |
| 1.9 Renseignements sur l'aérodrome .....   | 16        |
| 1.10 Enregistreurs de bord .....   | 16        |
| 1.11 Renseignements sur l'épave et sur l'impact.....   | 16        |
| 1.11.1 Examen de la zone.....  | 16        |
| 1.11.2 Examen de l'aéronef et des pièces retrouvées aux abords de la piste.....                                | 18        |
| 1.11.2.1 Roue et système de fixation .....   | 18        |
| 1.11.2.2 Bloc frein .....  | 21        |
| 1.11.2.3 Train d'atterrissage principal gauche.....  | 22        |
| 1.11.2.4 Examen du poste de pilotage .....   | 22        |
| 1.12 Renseignements médicaux et pathologiques.....   | 23        |
| 1.13 Incendie.....   | 23        |
| 1.14 Survie des occupants.....   | 23        |
| 1.14.1 Evacuation d'urgence au sol.....  | 23        |
| 1.14.2 Organisation des secours .....  | 23        |
| 1.15 Renseignements sur les organismes .....   | 23        |
| 1.16 Techniques spécifiques d'enquête.....   | 24        |
| <b>2 Analyse</b> .....   | <b>25</b> |
| 2.1 Résultats des expertises techniques.....   | 25        |
| 2.1.1 Analyse de paramètres de l'enregistreur de vol.....  | 25        |
| 2.1.2 Analyse des dommages sur les pièces .....  | 26        |
| 2.1.2.1 Premiers éléments.....   | 26        |
| 2.1.2.2 Procédure de montage de la roue du train principal.....  | 26        |
| 2.1.2.3 Résultats de l'expertise technique : validation de l'hypothèse d'une erreur de montage de la roue..... | 27        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.1.3 Séquence de désolidarisation de la roue .....   | 29        |
| 2.1.4 Eléments notables suite au contrôle du parc Xingu .....                               | 29        |
| 2.2 Recherche des causes de l'incident .....  | 30        |
| 2.2.1 Causes liées au facteur humain .....  | 31        |
| 2.2.1.1 Raté d'exécution lors du montage de la roue .....                                   | 31        |
| 2.2.1.2 Aspects organisationnels .....  | 31        |
| 2.2.2 Causes liées au domaine technique .....   | 34        |
| 2.2.2.1 Carte de travail suscitant des interprétations .....                                | 34        |
| 2.2.2.2 Evénement similaire en 2002 .....   | 37        |
| 2.3 Gestion de l'événement .....  | 38        |
| <b>3 Conclusion</b> .....   | <b>41</b> |
| 3.1 Eléments établis utiles à la compréhension de l'événement .....                         | 41        |
| 3.2 Mécanismes de l'événement .....   | 41        |
| <b>4 Recommandations de sécurité</b> .....  | <b>42</b> |
| 4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement .....                       | 43        |
| 4.1.1 Procédure de montage de la roue du train principal du Xingu .....                     | 43        |
| 4.1.2 Formation des techniciens « sur le tas » .....  | 43        |
| 4.1.3 Manque de synergie au sein de l'équipe technique .....                                | 44        |
| 4.2 Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement .....                 | 44        |
| 4.2.1 Conduite de l'enquête technique .....   | 44        |
| <b>Annexes</b> .....  | <b>45</b> |
| <b>1 Composition du train d'atterrissage</b> .....  | <b>46</b> |
| 1.1 Vue d'ensemble .....  | 46        |
| 1.2 Détails de la fixation de la roue .....   | 47        |
| 1.3 Vue en coupe de la roue sur la fusée avec ses roulements et son écrou de fixation ..... | 48        |
| <b>2 Dommages observés sur chaque pièce</b> .....   | <b>49</b> |

**GLOSSAIRE**

|          |  |
|----------|--|
| ALAVIA   | Amiral commandant l'aéronautique navale  |
| BAN      | Base aéronautique navale   |
| BEAD-air | Bureau enquêtes accidents défense air  |
| ft       | <i>Feet</i> - pied (1 ft $\approx$ 0,30 mètre)                                 |
| IR       | <i>Instrument rated</i> - qualification vol aux instruments normes européennes |
| kt       | <i>Knot</i> - Nœud (1 kt $\approx$ 1,852 km/h)                                 |
| OSA      | Officier sécurité aviation   |
| RG       | Révision générale  |
| SMA      | Service de maintenance aéronautique  |
| SURMAR   | Surveillance maritime  |
| TAG      | <i>Touch and go</i> – posé-décollé   |

## **SYNOPSIS**

- Date de l'événement : 03 octobre 2007 à 15h27<sup>1</sup> ;
- Lieu de l'événement : base aéronavale de Nîmes-Garons ;
- Organisme : marine nationale ;
- Commandement organique : ALAVIA (Amiral commandant l'aéronautique navale) ;
- Unité : 28F ;
- Aéronef : Embraer 121 Xingu ;
- Nature du vol : entraînement tours de piste (pré-évaluation avant test de lâcher) ;
- Nombre de personnes à bord : 3.

### **Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis**

Lors d'une séance de « *touch and go*<sup>2</sup> », l'équipage ressent des vibrations au moment du lever de la roulette de nez et, simultanément, le contrôleur signale la perte de la roue du train principal gauche. L'équipage poursuit son décollage sans rentrer le train et se met en hippodrome d'attente. Deux heures après, le Xingu atterrit sur la piste de Nîmes, train sorti, moteur coupé, hélices en drapeaux et volets en position 35%. L'équipage est indemne.

---

<sup>1</sup> Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures locales.

<sup>2</sup> Posé-décollé.

### **Composition du groupe d'enquête technique**

- Un enquêteur du Bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air), nommé directeur d'enquête technique ;
- Un enquêteur du BEAD-air, adjoint au directeur d'enquête technique ;
- Un enquêteur de première information (EPI) ;
- Un officier pilote ayant une expertise sur Xingu ;
- Un officier mécanicien ayant une expertise sur Xingu.

### **Déclenchement de l'enquête technique**

Le BEAD-air a été prévenu de l'événement par le bureau opérations de la marine nationale le 03 octobre 2007 à 16h27, avant l'atterrissage final de l'aéronef. Le directeur du BEAD-air désigne le directeur d'enquête technique.

### **Enquête judiciaire**

- Le Parquet de Nîmes s'est saisi de l'affaire ;
- Un officier de police judiciaire de la brigade de gendarmerie de l'air d'Istres a été commis.

## **1 RENSEIGNEMENTS DE BASE**

### **1.1 Déroulement du vol**

#### ***1.1.1 Mission***

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Indicatif mission          | ETOILE HOTEL                             |
| Type de vol                | CAM <sup>3</sup>                         |
| Type de mission            | Vol d'instruction (qualification)        |
| Dernier point de départ    | Base aéronautique navale de Nîmes-Garons |
| Heure de départ            | 14h00                                    |
| Point d'atterrissage prévu | BAN Nîmes-Garons                         |

#### ***1.1.2 Déroulement***

##### ***1.1.2.1 Mission***

L'équipage est composé d'un moniteur (CDB<sup>4</sup>) et de deux stagiaires pilotes (un pilote en fonction et un passager) en stage de transformation SURMAR<sup>5</sup>. Le type de vol est une pré-évaluation des stagiaires par le commandant d'unité.

##### ***1.1.2.2 Préparation du vol***

Le briefing avant vol s'est déroulé à 12h30 dans la salle des stagiaires de manière informelle, sans support écrit et a duré une quinzaine de minutes.

##### ***1.1.2.3 Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'événement***

Le premier pilote stagiaire effectue 12 « *touch and go* » et un atterrissage. Après changement d'équipage au sol et moteurs tournants, le deuxième pilote stagiaire effectue son premier « *touch and go* » à 15h30.

<sup>3</sup> CAM : circulation aérienne militaire.

<sup>4</sup> CDB : commandant de bord.

<sup>5</sup> SURMAR : surveillance maritime.

Lors du 14<sup>ème</sup> décollage, l'équipage ressent des vibrations lors de la course au décollage, après franchissement de la V1<sup>6</sup>, au moment du déjaugage. Au même moment, la tour de contrôle signale la perte de la roue du train principal gauche. L'équipage poursuit alors son décollage sans rentrer le train et se met en attente, vertical terrain à 1500 ft<sup>7</sup> afin d'analyser la situation et élaborer un plan d'actions.

Dans un premier temps, l'équipage effectue plusieurs passages proches de la tour pour permettre la prise de photos et l'analyse des pièces manquantes et avoir une connaissance de la configuration réelle du train principal. Dès lors, une équipe au sol, constituée par le commandant de base, le commandant de la flottille et l'OSA<sup>8</sup> restera en contact permanent avec l'équipage afin de gérer l'événement.

L'équipe au sol confirme que le bloc de frein est resté solidaire de la jambe de train et propose alors à l'équipage d'atterrir trains sortis. L'équipage analyse tout d'abord la checklist. La situation étant atypique et non répertoriée, l'équipage décide de se poser train sorti avec 400 lbs<sup>9</sup> de carburant restants. Deux heures d'autonomie leur permettent alors d'affiner leur plan d'actions.

L'équipage envisage l'atterrissage trains sortis, volets 100 %, et effectue deux essais de présentation en étant conscient qu'une remise des gaz est impossible dans cette configuration. La position de l'assiette de l'appareil étant très à piquer, l'équipe au sol suggère à l'équipage de tester une position des volets à 35 %. Après un essai dans cette configuration, l'équipage opte effectivement pour une position 35 %.

Environ 30 minutes avant l'atterrissage, le moniteur prend les commandes en place gauche à la place du stagiaire et mécanise la séquence de coupure des moteurs à trois reprises : min / feather / cut off / shut off / géné off/ bat off.

Vers 17h40, au moment de l'approche finale, il met les hélices en drapeaux et coupe les deux moteurs entre 50 et 100 ft. Le contrôle de l'avion s'effectue après avoir touché la roue droite puis les deux autres. Lorsque le train gauche arrive en contact du sol, la trajectoire de l'avion n'est pas déviée.

---

<sup>6</sup> V1 : vitesse de décision au décollage.

<sup>7</sup> Ft : *feet*. (1 ft = 0,304 m).

<sup>8</sup> OSA : officier sécurité aviation.

<sup>9</sup> Lb : livre (0,45 kg).

Quelques mètres après, le pilote freine, ce qui provoque une embardée de l'aéronef vers la droite. Il demande alors de l'aide au stagiaire pour actionner les palonniers afin de rétablir la trajectoire de l'appareil. Quelques mètres après, le Xingu s'immobilise et l'équipage évacue d'urgence par la porte principale puis s'éloigne de quelques mètres de l'appareil. Les secours arrivent pour sécuriser les lieux et prendre en charge les membres d'équipages, indemnes.

### 1.1.3 Localisation

- Lieu : BAN de Nîmes-Garons ;
  - ⇒ pays : France ;
  - ⇒ coordonnées géographiques :
    - N 43°45'26.74 ;
    - E 004°24'58.8.
- Moment : jour.

### 1.2 Tués et blessés

| Blessures         | Membres d'équipage | Passagers | Autres personnes |
|-------------------|--------------------|-----------|------------------|
| Mortelles         |                    |           |                  |
| Graves            |                    |           |                  |
| Légères / Aucunes | 0 / 3              |           |                  |

### 1.3 Dommages à l'aéronef

| Aéronef | Disparu | Détruit | Endommagé | Intègre |
|---------|---------|---------|-----------|---------|
|         |         |         | X         |         |

### 1.4 Autres dommages

Néant.

## 1.5 Renseignements sur le personnel

### 1.5.1 Membres d'équipage de conduite

#### 1.5.1.1 Commandant de bord

- Age : 38 ans.
- Unité d'affectation : flottille 28F ;
  - ⇒ fonction dans l'unité : Officier sécurité aviation au sein de la flottille.
- Formation :
  - ⇒ qualifications :
    - CACO (commandant d'aéronef confirmé opérationnel : qualification tactique de surveillance maritime) ;
    - FAMI<sup>10</sup> .
  - ⇒ école de spécialisation : 52S Lorient ;
  - ⇒ année de sortie d'école : 1996.
- Heures de vol comme pilote :

|       | Total          |           | Dans le semestre écoulé |           | Dans les 30 derniers jours |           |
|-------|----------------|-----------|-------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
|       | Sur tous types | Sur Xingu | Sur tous types          | Sur Xingu | Sur tous types             | Sur Xingu |
| Total | 4200           | 990       | 275                     | 72        | 46                         | 20        |

- Date du dernier vol comme pilote :
  - ⇒ sur l'aéronef : 21 septembre 2007 ;
  - ⇒ sur tous types : 02 octobre 2007

<sup>10</sup> Pilote capable d'assurer l'entraînement d'un pilote breveté sur un type d'aéronef particulier. Cette qualification est attribuée par le commandant de formation, selon un programme défini par l'autorité organique ; (Ref IP 125 alavia/ent/np du 07/02/2005). Cette formation s'est déroulée sur 6 vols (10 heures de vol) en novembre 2006 par des pilotes de la flottille eux-mêmes qualifiés FAMI.

➤ Carte de circulation aérienne :

⇒ type : verte.

Brevets civils : pilote professionnel, qualifié IR<sup>11</sup>, ATPL<sup>12</sup> théorique

*1.5.1.2 Pilote stagiaire aux commandes au moment de l'événement.*

➤ Age : 25 ans.

➤ Unité d'affectation : 28F / STS (Service de transformation SURMAR) ;

⇒ fonction dans l'unité : stagiaire ;

⇒ qualification : école de spécialisation : EAT (Ecole d'aviation de transport)  
AVORD ;

⇒ année de sortie d'école : 2007.

➤ Heures de vol comme pilote :

|       | Total          |           | Dans le semestre écoulé |           | Dans les 30 derniers jours |           |
|-------|----------------|-----------|-------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
|       | Sur tous types | Sur Xingu | Sur tous types          | Sur Xingu | Sur tous types             | Sur Xingu |
| Total | 263            | 155       | 130                     | 130       | 6.5                        | 6.5       |

➤ Date du dernier vol comme pilote :

⇒ sur l'aéronef : 02 octobre 2007 ;

Carte de vol aux instruments :

⇒ type : blanche obtenue dans l'armée de l'air ;

⇒ date d'expiration : 31 juillet 2008.

Brevets civils : CPL<sup>13</sup>, qualifié IR, QT<sup>14</sup> EMB 121, ATPL théorique.

*1.5.2 Autres personnels : pilote stagiaire n'étant pas aux commandes.*

Profil similaire au pilote stagiaire aux commandes au moment de l'événement.

<sup>11</sup> IR : *instrument rated* - qualification vol aux instruments normes européennes.

<sup>12</sup> ATPL : *airline transport pilot license* – licence de pilote d'avion de transport.

<sup>13</sup> CPL : *commercial pilot licence* – licence de pilote commercial.

<sup>14</sup> QT : qualification de type.

## 1.6 Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : marine nationale ;
- Commandement organique (ou opérationnel) d'appartenance : Aviation navale ;
- Base aérienne de stationnement : BAN de Nîmes Garons ;
- Unité d'affectation : flottille 28F ;
- Type d'aéronef : Embraer 121A Xingu.

⇒ *caractéristiques (en heures de vol) :*

Avant le premier décollage pour le vol, l'appareil comptabilise 8926,7 heures de vol.

| Avant vol   | Type - série                                | Numéro   | Heures de vol totales | Heures de vol depuis          | Heures de vol depuis         |
|-------------|---|----------|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Cellule     | EMBRAER<br>121A (N)                         | 121079   | 8926,7                | IREF <sup>15</sup> :<br>511,7 | V1N2 <sup>16</sup> :<br>67,7 |
| Moteur<br>G | PRATT &<br>WHITNEY<br>PT6A28                | 52665    | 7989,4                | 38,2                          | -                            |
| Moteur<br>D | PRATT &<br>WHITNEY<br>PT6A28                | 53570    | 7142,6                | RG <sup>17</sup> : 178,5      | V1N2 : 67,7                  |
| Hélice<br>G | HC-B3TN-<br>3CT10178B8R<br>1610.01.148.3369 | BUA24834 | 1327,2                |                               |                              |
| Hélice<br>D | HC-B3TN-<br>3CT10178B8R<br>1610.01.148.3369 | BUA29098 | 537,9                 |                               |                              |

<sup>15</sup> IREF : inspection réparation par entretien fractionné.

<sup>16</sup> V1N2 : première visite de niveau 2.

<sup>17</sup> RG : révision générale.

⇒ *caractéristiques (en nombre d'atterrissages) :*

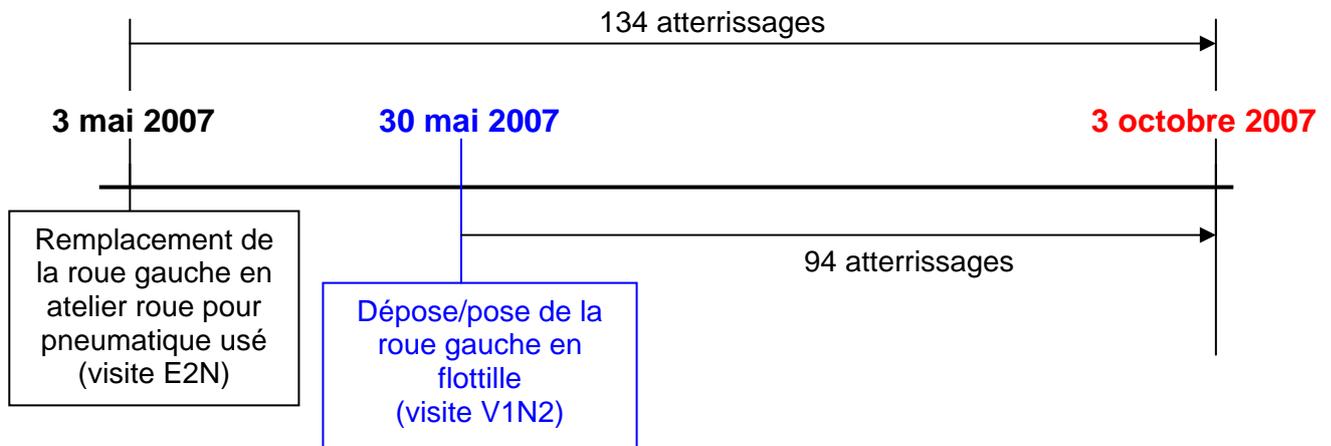
Avant le premier décollage pour le vol, l'appareil comptabilise 17149 atterrissages.

| Avant vol         | Type - série                            | Numéro | Nombre total d'atterrissages | Atterrissages depuis       | Atterrissages depuis |
|-------------------|---|--------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| Train Gauche      | 121-412-01<br>92.1620.14.4<br>07.8300   | 494    | 14021                        | 557<br>(E12500 à<br>13464) | -                    |
| Train D           | 121-412-01<br>92.1620.14.4<br>65.6161   | 534    | 14987                        | -                          | RG : 94              |
| Bloc frein Gauche | 16835-000-03<br>92.1630.14.4<br>13.6141 | 1491   | 2465                         | RG :<br>743+1722           | E2N : 2217           |
| Bloc frein D      | 16835-000-03<br>92.1630.14.4<br>13.6141 | 1490   | 2427                         | RG :<br>274+2153           | E2N : 1689           |
| Roue Gauche       | 18480-000-01<br>92.1630.14.4<br>09.2243 | 543    | 2096                         | RG : 2096                  | E2N : 32             |
| Roue D            | 18480-000-01<br>92.1630.14.4<br>09.2243 | 502    | 3962                         | RG : 3962                  | E2N : 134            |

### **1.6.1 Maintenance**

L'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien calendaire conforme au programme de maintenance en vigueur.

Le schéma ci-dessous récapitule les dernières opérations effectuées sur la roue du train principal gauche :



*Figure 1: schéma récapitulatif des dernières opérations effectuées sur la roue gauche*

Par ailleurs, des recherches ont été effectuées au sein de l'atelier roues du service maintenance des aéronefs (SMA) et ont révélé que cette roue est passée 2 fois en atelier depuis l'arrivée des Xingu à Nîmes-Garons en 2002, sans changement particulier des roulements.

Au sein de l'atelier, 8 roulements ont été consommés en 5 ans concernant les Xingu.

### **1.6.2 Carburant**

- Type de carburant utilisé : F34 (jet A1 avec antigel).
- Quantité de carburant au décollage : 2400 lbs.
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : environ 1800 lbs.

### **1.6.3 Autres fluides**

Un prélèvement et une analyse des graisses utilisées dans le cadre de la maintenance des roues du Xingu ont été effectués afin de s'assurer de leur conformité.

## **1.7 Conditions météorologiques**

### ***1.7.1 Prévisions***

Les prévisions météorologiques ont été recueillies par le stagiaire aux commandes en deuxième partie de vol. Les renseignements ont été pris par téléphone auprès du service météo de la base concernant les terrains de Nîmes et Montpellier.

### ***1.7.2 Observations***

Les observations météorologiques de la tour de contrôle font état d'un vent régulier du secteur 060° pour 4 kt<sup>18</sup> au moment de l'événement.

## **1.8 Télécommunications**

Pendant le vol, l'équipage est en contact radio sur 123.2 (fréquence de la tour de Nîmes) puis sur 119.9 (fréquence GCA<sup>19</sup> utilisée pour le PC événement) avec le contrôleur, le commandant de la base, le commandant de la flottille 28F, et l'OSA de la flottille 28F.

## **1.9 Renseignements sur l'aérodrome**

Sans objet.

## **1.10 Enregistreurs de bord**

L'appareil est équipé d'un enregistreur de paramètres à bande magnétique de type ENERTEC.

## **1.11 Renseignements sur l'épave et sur l'impact**

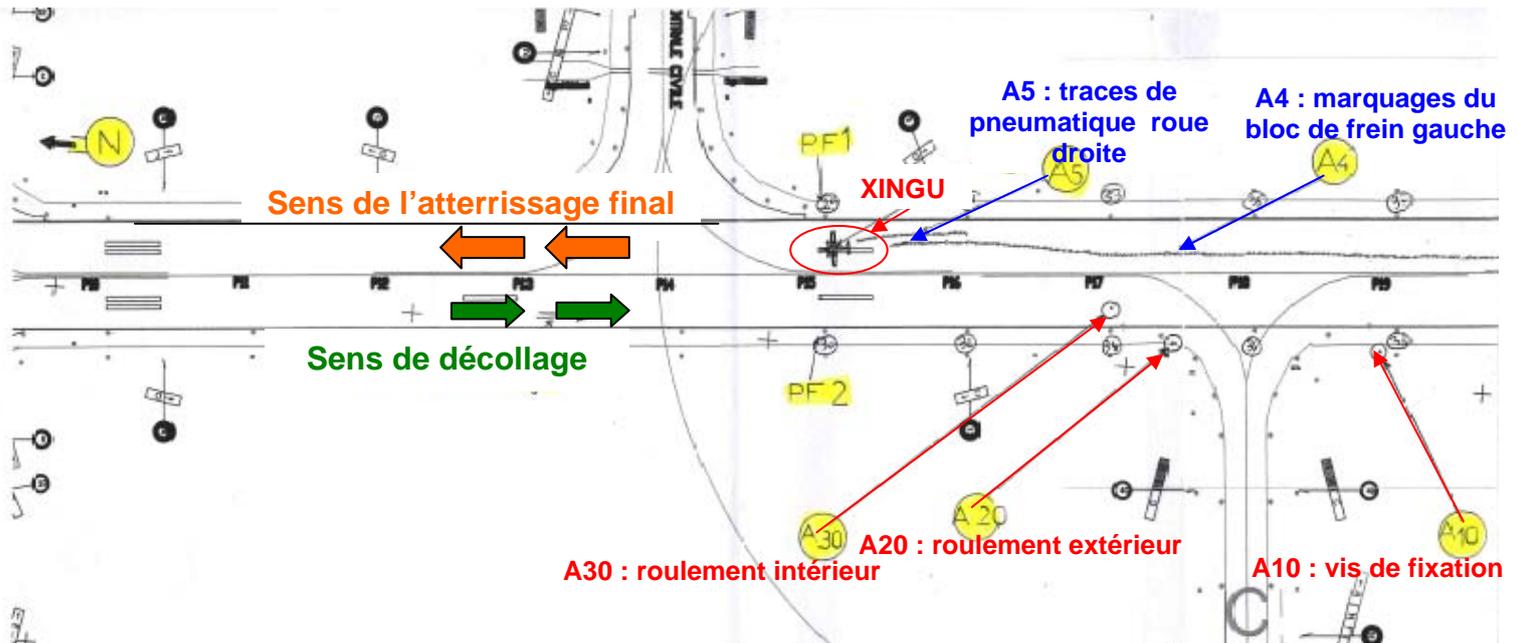
### ***1.11.1 Examen de la zone***

Le schéma ci-dessous décrit les emplacements des différentes pièces retrouvées sur la piste ainsi que les marques et les positions de l'appareil au moment de l'événement et lors de l'atterrissage final.

---

<sup>18</sup> Kt : *knots* - nœud (1 kt ≈ 1,852 km/h)

<sup>19</sup> GCA : *ground controlled approach* – approche de contrôle au sol.



*Figure 2 : relevé de situation de l'appareil endommagé sur la piste de Nîmes-Garons*

La totalité des pièces composant le système de fixation de la roue a été retrouvée sur le côté droit de la piste.



*Photo 1 : vue générale du Xingu en vol après la perte de la roue du train principal gauche*

### ***1.11.2 Examen de l'aéronef et des pièces retrouvées aux abords de la piste***



*Photo 2 : vue générale de l'appareil après l'atterrissage final*

#### ***1.11.2.1 Roue et système de fixation***

➤ Roue gauche :

La roue gauche, qui s'est détachée de l'appareil, ne présente pas de dommages visibles importants.

➤ Bagues de roulements :



*Photo 3 : bague du roulement extérieur de roue*



*Photo 4 : bague du roulement intérieur de roue*

D'un aspect bleu, la bague externe du roulement extérieur est fortement marquée et présente des arrachements de matières. Par ailleurs, la graisse a une couleur plus foncée que la graisse d'origine. Des particules de métal ont été retrouvées à l'intérieur de la graisse.

La bague externe du roulement intérieur est marquée mais ne présente pas d'arrachement de matière. La graisse est de couleur normale.

➤ Roulement intérieur

Le roulement intérieur (cage et rouleaux) est retrouvé sur la piste en plusieurs morceaux.



*Photo 5 et 6 : cage et rouleaux du roulement interne*

La cage est déformée et rompue. Les rouleaux sont visuellement intacts.

➤ Roulement extérieur

Le roulement extérieur est détruit. Les emplacements de roulements sont déchirés. Les rouleaux sont bleuis, déformés et certains présentent des arrachements de matières. Enfin, l'état de surface des rouleaux apparaît boursoufflé.



*Photo 7 : cage bleuie, déchirée et déformée*



*Photo 8: vue des rouleaux endommagés*

La bague interne est également bleuie et présente des traces d'échauffement sur la portée perpendiculaire à l'axe, ainsi que des marques sur l'extérieur au contact des rouleaux.



*Photo 9 et 10 : bague interne du roulement extérieur bleuie et marquée*

➤ Entretoise de blocage :

L'entretoise de blocage est retrouvée sur la piste. Elle est bleuie sur la face en contact avec le roulement extérieur et striée par la rotation de celui-ci sur sa face perpendiculaire à l'axe. Ses deux pions de blocage sont cisailés.



*Photo 11 : entretoise de blocage retrouvée sur la piste*

*Photo 12 : pion de blocage cisailé à ras sur l'entretoise de blocage*

➤ Vis de fixation :



*Photo 13 : vis de fixation retrouvée sur la piste*

La vis de fixation ne présente aucun dommage visible.

➤ Autres composants :

La goupille de sécurité, le cache moyeu et le circlips ont été retrouvés sur la piste, sans dommage apparent.

*1.11.2.2 Bloc frein*

Après l'atterrissage final, le constat des dommages sur le bloc frein est le suivant :

- le disque est endommagé et aplati. Il présente des traces de surchauffe ;
- Les plaquettes de freins sont détériorées ;
- Le mécanisme du bloc de frein est intègre.



Photo 14 : vue du bloc de frein gauche sur train d'atterrissage après atterrissage final

### 1.11.2.3 Train d'atterrissage principal gauche

➤ Fusée :

La fusée du train principal gauche présente des marquages et des rayures.



*Photo 15 : vue générale de la fusée*



*Photo 16 : déformation du logement du pion de l'entretoise de blocage*

➤ Compas :

Le relevé de la convergence du train montre que l'avarie a généré une légère détérioration des compas situés sur le train gauche (jeu hors tolérance).



*Photo 17 : compas du train principal gauche*



*Photo 18 : compas du train principal droit*

### 1.11.2.4 Examen du poste de pilotage

Les observations suivantes ont été effectuées dans le poste de pilotage :

- sonde altimétrique réglée à 300 ft ;
- manettes hélices sur « feather » ;

- pressurisation sur auto ;
- phares sur off ;
- totalisateur carburant à 2027,5 lbs consommées.

### **1.12 Renseignements médicaux et pathologiques**

L'équipage était apte médicalement.

### **1.13 Incendie**

Néant.

### **1.14 Survie des occupants**

#### ***1.14.1 Evacuation d'urgence au sol***

Après l'atterrissage final, les membres d'équipage ont évacué d'urgence l'appareil au sol.

Le stagiaire en place arrière était chargé d'ouvrir la porte ; son blocage a été envisagé et la révision de l'ouverture de l'issue de secours latérale a été effectuée.

Après évacuation de l'appareil par le stagiaire en place arrière, le stagiaire en place avant droite, puis le commandant de bord en place avant gauche, l'équipage s'est éloigné de l'aéronef et s'est positionné dans l'herbe, à l'extérieur de la piste.

#### ***1.14.2 Organisation des secours***

Le contrôleur a immédiatement déclenché l'alerte sécurité après l'annonce de la perte de la roue à l'équipage : les pompiers (2 véhicules d'intervention mobiles), l'infirmerie, le SMA, le commandement de la base et la flottille sont alertés par téléphone. La base a également demandé le soutien d'un hélicoptère de la DDSC (Direction de la défense et de la sécurité civiles) dans un premier temps, puis un hélicoptère du SAMU (Service d'aide médicale d'urgence).

### **1.15 Renseignements sur les organismes**

Sans objet.

### **1.16 Techniques spécifiques d'enquête**

L'expertise de la jambe du train principal gauche (avec l'ensemble des pièces retrouvées aux abords de la piste) a été effectuée par le CEAT (Centre d'essais aéronautique de Toulouse).

Cette expertise a eu pour objectif d'identifier l'origine technique de la perte de la roue (problème technique, usure prématurée, pièce défailante, erreur de montage).

## 2 ANALYSE

L'analyse des circonstances et des causes de la perte de la roue du train principal gauche du Xingu se décompose en deux parties :

- résultats des expertises techniques ; cette première partie apporte la compréhension technique de la perte de la roue à partir des analyses et résultats des expertises techniques ;
- recherche des causes ; cette deuxième partie envisage les causes qui ont pu conduire à la perte de la roue.

Bien que la gestion de l'événement en vol ait été traitée globalement de manière efficace, un chapitre sera consacré à cet aspect dans le but de tirer des enseignements.

### 2.1 Résultats des expertises techniques

#### 2.1.1 Analyse de paramètres de l'enregistreur de vol

A partir des données issues de l'enregistreur de vol, les accélérations longitudinales (Jx), latérales (Jy) et normales (Jz) ont été analysées afin d'étudier l'hypothèse d'un posé dur. Pour chaque phase d'atterrissage et de « *touch and go* » (TAG), les valeurs des accélérations ont été comparées. Par exemple, sur la figure suivante, les valeurs minimales et maximales des accélérations normales (Jz) sont présentées pour chaque atterrissage, décollage et TAG.

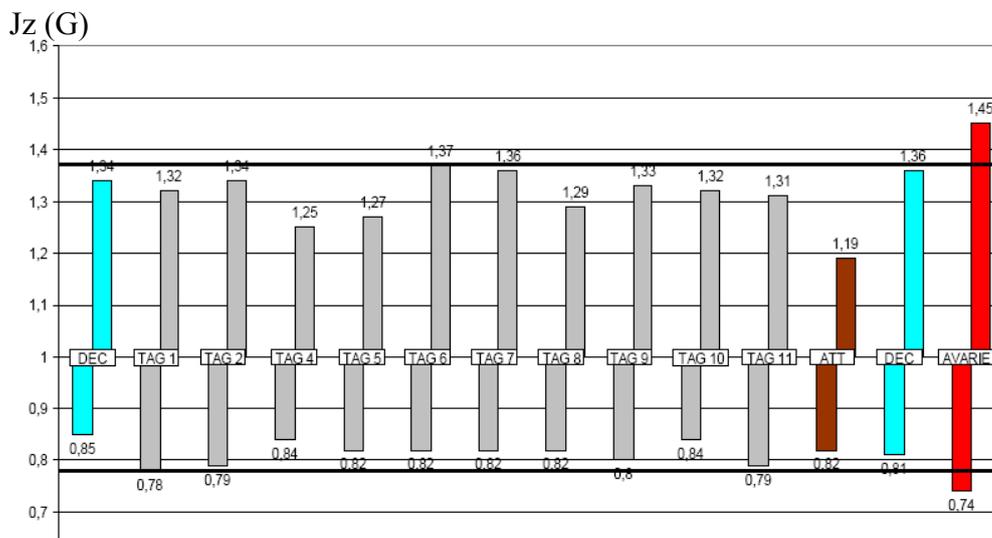


Figure 3: valeurs minimales et maximales du Jz (G)

Sur l'ensemble des phases d'atterrissage, les valeurs des Jx, Jy et Jz sont cohérentes et l'écart relatif entre les différentes valeurs reste faible (inférieur à 10 %).

**L'hypothèse d'un posé dur est rejetée.**

**2.1.2 Analyse des dommages sur les pièces**

**2.1.2.1 Premiers éléments**

Les schémas fournis en *Annexe 1 p 46* montrent les différents éléments constitutifs du train d'atterrissage, ainsi que les dénominations des différentes pièces. Les *Annexes 1.2 et 1.3 p 47 et 48* présentent l'assemblage de la roue sur la fusée avec ses roulements interne et externe.

Une expertise technique a été réalisée par le CEAT afin de déterminer la séquence d'événements conduisant à la perte de la roue. Une analyse des dommages sur chacune des pièces constituant l'ensemble de fixation de la roue du train principal a été effectuée. Cette analyse a permis, dans un premier temps, de rejeter les hypothèses suivantes :

- défaut de graissage : l'analyse des graisses a montré que le type de graisse utilisé est conforme aux spécifications du constructeur. Par ailleurs, la quantité de graisse retrouvée sur la fusée permet d'écarter l'hypothèse d'un manque de graissage.
- l'ensemble des pièces constituant l'ensemble de fixation de la roue correspondent aux pièces standard spécifiées par le constructeur : l'hypothèse d'une non-conformité de pièces est rejetée.
- dégradation anormale ou usure prématurée des roulements : les matériaux et pièces du montage ne présentent pas de dommages représentatifs d'un vieillissement prématuré.

Les hypothèses techniques énoncées ci-dessus étant écartées, une seconde partie de l'analyse s'attache à étudier l'hypothèse d'une erreur lors du montage de la roue.

**2.1.2.2 Procédure de montage de la roue du train principal**

L'ensemble des documents décrivant la procédure de montage de la roue du train principal souligne l'importance du serrage lors de cette opération.

Ainsi, dans le manuel constructeur<sup>20</sup>, il est stipulé qu' « *un serrage excessif peut bloquer la roue, tandis qu'un serrage insuffisant peut provoquer un jeu de roue, entraînant une détérioration des paliers.* »

Or, aucun document ne spécifie avec précision la méthode de serrage (cet aspect sera traité dans le *paragraphe 2.2.2.1 p 34.*).

**Le risque lié à un raté d'exécution lors de l'opération de serrage de la vis de fixation de la roue est identifié dans la documentation technique et souligne ainsi la difficulté de l'opération de montage de la roue du train principal.**

*2.1.2.3 Résultats de l'expertise technique : validation de l'hypothèse d'une erreur de montage de la roue.*

Les figures présentées en *Annexe 2 p 49* détaillent les dommages identifiés sur chacune des pièces.

L'analyse des dommages a permis de déterminer que :

- la partie externe de l'ensemble fusée, roulement extérieur, et entretoise de blocage a subi un échauffement intense ;
- les pions de guidage situés sur l'entretoise se sont rompus en cisaillement dans le sens antihoraire du desserrage. Ces pions n'étaient pas engagés sur la totalité de leur section dans les encoches de guidage ;
- les traces d'une importante friction entre la bague interne du roulement extérieur et l'entretoise de blocage indiquent la présence de fortes charges axiales en cours de fonctionnement ;
- les dégradations importantes observées sur une moitié de la génératrice des chemins de roulements témoignent de la présence de fortes charges mécaniques.

---

<sup>20</sup> GCE 120-05, chapitre 32-41-00 page 201 : « roue et frein du train principal – opérations d'entretien ».

**L'analyse des dommages sur chacune des pièces montre que la destruction du roulement externe est à l'origine de la perte de la roue.**

**La destruction du roulement a alors entraîné :**

- ❖ **un grippage entre le roulement intérieur et la fusée ;**
- ❖ **un grippage entre le roulement extérieur et l'entretoise de blocage, ce qui a provoqué le cisaillement des pions de guidage.**

Compte tenu des différents résultats de l'expertise technique, deux hypothèses ont ainsi été envisagées afin d'expliquer la destruction du roulement extérieur. Ces deux hypothèses sont liées à une erreur de montage de la roue :

- un serrage excessif ;
- ou un serrage insuffisant.

Le schéma présentant une vue en coupe de la roue sur la fusée est fournie en *Annexe 1 p 46*. Cette figure présente notamment le roulement extérieur en contact avec l'entretoise de blocage et la vis de fixation de la roue.

Dans des conditions standard de montage, les rouleaux des roulements sont en contact avec les chemins de roulements sur toute la génératrice.

Dans le cas d'un montage présentant un serrage excessif, il est fortement probable que la totalité de la surface de roulement soit endommagée et non pas sur la moitié de la génératrice, comme constaté supra.

Dans le cas d'un montage présentant un serrage insuffisant, la position des rouleaux change sous l'effet de la conicité des éléments et des charges mécaniques : les rouleaux remontent jusqu'en butée sur la couronne du roulement, modifiant ainsi le contact qui devient ponctuel. Ces éléments ont été particulièrement observés lors de l'expertise.

**L'hypothèse d'un serrage excessif est rejetée.**

**L'hypothèse selon laquelle un serrage insuffisant appliqué lors de l'opération de montage de la roue est à l'origine de la perte de la roue est retenue.**

### ***2.1.3 Séquence de désolidarisation de la roue***

Suite au serrage insuffisant du montage, le manque localisé de graisse engendre un échauffement extrêmement important puis la dégradation du roulement extérieur. Les rouleaux sont fortement déformés et la cage externe se déchire.

L'échauffement du roulement entraîne l'encastrement de la bague interne avec l'entretoise de blocage. Le roulement se bloque et devient solidaire de la roue (bague interne en particulier).

La roue, le roulement extérieur et l'entretoise de blocage étant solidaires, ce phénomène entraîne le cisaillement des pions de l'entretoise de blocage sur les lumières de l'extrémité de la fusée.

Une fois les pions cisailés, l'entretoise de blocage est libre en rotation avec la roue et le roulement, et le sens de rotation de la roue gauche l'entraîne dans le sens du dévissage.

La présence de la goupille de blocage sur l'entretoise de blocage en rotation entraîne le dévissage de l'écrou de fixation.

Une fois dévissé, cet écrou pousse le cache moyeu que le jonc de blocage ne suffit pas à retenir. L'ensemble vis de fixation, entretoise de blocage, goupille de blocage et roulement extérieur se dévisse totalement et tombe sur la piste, laissant libre le passage de la roue.

La roue n'étant plus maintenue, elle se désolidarise de l'atterrisseur.

### ***2.1.4 Eléments notables suite au contrôle du parc Xingu***

Suite à la perte de la roue du Xingu n°79 le 3 octobre 2007, un contrôle du parc Xingu a été effectué afin de s'assurer de l'intégrité des pièces de fixations des roues des trains principaux (en particulier, roulements et pions de guidage).

Les résultats du contrôle du parc ont été les suivants :

- les roulements ont tous été retrouvés intègres ;
- des pions de guidage ont été retrouvés déformés sur trois autres avions.



*Photo 19 : pion de guidage découvert endommagé lors du contrôle de parc*

La procédure de montage spécifique « *d'installer le roulement extérieur et l'entretoise de blocage en s'assurant que les tenons (ou pions) de guidage soient bien engagés dans les rainures de l'extrémité de la fusée* ». Or, cette opération s'avère parfois délicate, et l'opérateur est alors obligé de forcer sur ce montage pour pouvoir mettre les pions dans les encoches prévues à cet effet. Cela entraîne alors des endommagements localisés (ou matages) sur les pions.

**Un état dégradé des pions de guidage a pu fragiliser la liaison train d'atterrissage/roue et a pu favoriser une rupture brutale des pions, entraînant une désolidarisation extrêmement rapide des éléments de fixation de la roue.**

## **2.2 Recherche des causes de l'incident**

La perte de la roue du Xingu est consécutive à un serrage insuffisant de l'écrou de la vis de fixation de la roue. Cette partie s'attache à déterminer les causes qui ont pu conduire à une erreur de montage de la roue du train principal.

## **2.2.1 Causes liées au facteur humain**

### **2.2.1.1 Raté d'exécution lors du montage de la roue**

La dernière opération de montage de la roue du train principal gauche a été réalisée le 30 mai 2007, quatre mois environ avant l'événement.

L'opérateur désigné pour réaliser cette opération débute sa formation sur Xingu. Lorsque son chef le désigne pour cette opération et lui donne sa carte de travail, ce dernier ne lui rend pas compte qu'il n'avait jamais réalisé cette opération auparavant.

Tout en suivant la fiche opératoire fournie par son chef, il effectue seul, et sans instruction préalable, le montage de la roue du train principal gauche du Xingu pour la première fois. A aucun moment il n'a demandé de l'aide, sauf au moment de la repose de la roue où l'opération nécessite deux techniciens compte tenu de la masse de la roue.

**Le technicien qui a réalisé la dernière intervention sur la roue était en formation. Inexpérimenté, il a effectué seul l'opération de montage de la roue et pour la première fois : l'hypothèse d'un raté d'exécution est retenue.**

### **2.2.1.2 Aspects organisationnels**

➤ Encadrement des personnels techniques :

L'opérateur qui a réalisé la dernière opération de montage de la roue n'était pas qualifié pour cette opération : inexpérimenté, il n'avait jamais réalisé cette opération auparavant. Il a effectué le montage de la roue sans l'assistance ou la supervision d'un personnel expérimenté. A l'issue de son opération, il n'a pas été contrôlé.

**Des défauts d'encadrement ont contribué au raté d'exécution de l'opérateur :**

- ❖ **l'opérateur désigné n'était pas qualifié pour réaliser seul cette opération ;**
- ❖ **aucun personnel expérimenté n'a supervisé l'opérateur dans son travail ;**
- ❖ **à l'issue de l'opération de montage de la roue, le travail de l'opérateur en formation n'a pas été contrôlé.**

➤ Formation « sur le tas » des personnels des services techniques :

Une instruction<sup>21</sup> décrit les règles et les procédures liées à la formation « sur le tas » des personnels des services techniques. Cette instruction définit notamment :

- ⇒ l'importance de la formation « sur le tas » des mécaniciens en flottille ;
- ⇒ la structure de l'encadrement et du suivi de la formation, notamment par le biais des livrets de formation des opérateurs.

Au cours de l'enquête, il a été constaté que le livret de formation de l'opérateur qui a réalisé l'opération n'a jamais été contrôlé. De manière générale, les livrets de formation sont remplis par les opérateurs eux-mêmes, après chaque opération réalisée. Certains livrets sont disposés dans le bureau des contrôleurs, tandis que d'autres sont détenus par les opérateurs eux-mêmes. En examinant les autres livrets de formation, le constat a été identique : il n'y a pas de contrôle systématique des livrets. Ainsi, ne contrôlant pas le livret, le chef de visite n'a pas pris conscience que son mécanicien n'était pas qualifié sur Xingu.

Au sein de l'atelier, un tableau affiche la liste du personnel qualifié pour chaque type d'opération et sur chaque type d'aéronef. Ce tableau permet ainsi d'avoir une vue d'ensemble des opérateurs en formation et des opérateurs expérimentés sur chaque type d'opération. Or, l'opération relative au montage des roues était spécifiée pour les aéronefs Atlantique et Nord 262, mais inexistante pour le Xingu. Il n'est donc pas possible de connaître l'état de formation de l'ensemble du personnel de l'atelier concernant le montage des roues sur Xingu.

**L'absence de contrôle des livrets de formation n'a pas permis à l'encadrement d'anticiper sur la capacité du technicien à réaliser l'intervention, ce qui a conduit à la désignation d'un opérateur inexpérimenté et non supervisé.**

Enfin, les directives de formation stipulent qu'« *en période de formation, les opérations sont effectuées en double, c'est-à-dire sous la surveillance constante du formateur à qui incombe la responsabilité de l'opération et la correction des erreurs éventuelles* ».

---

<sup>21</sup> Instruction 1140 ALAVIA/AG/FORM du 15 juin 2006

Malgré le fait que l'opérateur était en formation, ces directives n'ont pas été appliquées pour la visite VIN2 du 30 mai 2007.

**La formation « sur le tas » des personnels des services techniques de la flottille n'est pas standardisée. Le suivi et le contrôle des personnels en formation ne sont pas réalisés de manière systématique.**

➤ Synergie entre les personnels des services techniques

De nouveaux objectifs de travail récemment mis en place semblent incompris par une majorité du personnel. De nombreux techniciens évoquent notamment un objectif de « recherche de disponibilité à tout prix ». Ce concept semble mal vécu par la majorité des techniciens. En effet, ces derniers ont l'impression que la disponibilité opérationnelle prime sur la qualité de leur travail. Une pression pour tenir les délais est exercée sur les opérateurs avec pour conséquence la réduction de certaines opérations techniques, sans véritable dialogue ni consultation ni concertation.

Ces derniers sont alors tentés de fonctionner de manière autonome, afin de réaliser le travail qui leur a été confié le plus rapidement possible. Ainsi, au cours du montage de la roue du Xingu le 31 mai 2007, l'opérateur n'a demandé de l'assistance uniquement lorsqu'il en a ressenti l'obligation. Ses collègues ne se souviennent pas avoir contribué à sa formation alors qu'il effectuait pour la première fois une opération de maintenance sur Xingu<sup>22</sup>.

**La pression exercée sur les opérateurs pour tenir les délais et les nouveaux objectifs sans rechercher l'adhésion de tous, diminue la synergie entre les personnels de l'équipe technique. Les opérateurs ont tendance à fonctionner de manière autonome, sans surveillance mutuelle.**

➤ Mise à jour des documents de travail :

Plusieurs documents permettent de suivre les travaux de maintenance à effectuer ou les opérations qui ont été réalisées.

<sup>22</sup> L'opérateur est arrivé dans la flottille en novembre 2005. Il a commencé par être formé sur N262.

- ⇒ Le recueil des équipements à périodicité d'entretien (REPE) du Xingu en date du 15 mars 2007, prévoit un entretien de type E3N sur les roues principales tous les 5000 atterrissages et un contrôle non destructif à la première RG, puis à chaque changement de pneumatique. L'utilisation de la fiche opératoire de maintenance (FOM) est alors nécessaire, mais elle ne reprend pas en détail les directives techniques des documentations NCR 118 (Notice technique de la roue de 12 pouces) concernant les aspects de contrôle de l'intégrité des pièces et de remplacement des roulements<sup>23</sup>.
- ⇒ Les FME (fiche matricule équipement) sont parfois raturées et certains calculs sont incohérents. Certaines informations écrites sur ces fiches ne traduisent pas clairement la nature des opérations réalisées et ne permettent pas de comprendre le cadre de l'intervention (entretien à 12 500 atterrissages sur les atterrisseurs pour signifier l'application d'opérations de maintenance dans le cadre des VIN2 ou VIN6 par exemple). Par ailleurs, sur la FME de la roue 543, objet de l'événement, aucun nom d'opérateur (en flottille ou en atelier) n'apparaît.
- ⇒ La formule 112 AN du livret structure est bien renseignée. Néanmoins, le comptage du nombre d'atterrissages est erroné<sup>24</sup>.

**Des documents techniques basés sur ceux du constructeur ne reprennent pas en totalité les spécifications du constructeur, ce qui pourrait engendrer une insuffisance dans l'entretien et le contrôle des visites périodiques.**

## ***2.2.2 Causes liées au domaine technique***

### ***2.2.2.1 Carte de travail suscitant des interprétations***

Le montage des roues a été effectué à partir de la documentation technique. Plusieurs documents traitent de la procédure de pose de la roue sur le train d'atterrissage principal.

---

<sup>23</sup> La documentation NCR 118 demande le remplacement systématique des roulements lors des RG (équivalent E3N) et la documentation JCR AN146-9 (guide d'entretien d'équipement de la roue principale) précise les vérifications à mener sur les roulements. La FOM ne parle que de nettoyage, séchage et graissage.

<sup>24</sup> L'application de la fiche relative aux 12 500 atterrissages est à commenter. En effet, elle a été appliquée deux fois et ni le porteur, ni le train d'atterrissage n'étaient à 12 500 atterrissages, mais respectivement à 16 592 pour l'avion et 13 464 pour le train lors de la première application de cette visite, et de 16 875 et 13 747 lors de la deuxième application.

Ces documentations sont, dans l'ordre chronologique :

- JCE AN120-20, n° de carte 0304 relatif à la visite V1N2, édition juillet 1999 et JCE AN120-20-2, n° de carte 0205 relatif à la visite V1N6, édition juillet 1999 ;
- YCE120, chapitre 32-40-00-401, mis à jour d'avril 2002, relatif à la « pose roue du train principal » ;
- note technique n° 1/03/ST-SMA/NP/Ed. 01 de la BAN Lann-Bihoué, du 28 février 2003 ;
- GCE 120-05, chapitre 32-41-00 page 201, mis à jour du 1<sup>er</sup> juin 2005 : « roue et frein train principal – opérations d'entretien ».

En théorie, l'ensemble des documentations techniques lié à l'entretien de l'appareil doit être cohérent et les procédures de travail doivent être similaires. Or, si l'on examine la procédure de montage de la roue du train principal, il apparaît que la méthode de serrage spécifiée varie en fonction de la documentation utilisée.

Les extraits suivants, toujours classés dans l'ordre chronologique, en montrent les différences :

- Sur le manuel JCE, il est stipulé :

**- Visser l'écrou de roue jusqu' au contact dur.**

- Sur le manuel YCE, il est spécifié :

**04 Visser et serrer l'écrou de roue à l'aide de la clé jusqu'au contact dur.**

➤ Sur la note technique :

- Visser et serrer la vis de fixation (4) de la roue jusqu'à ce qu'elle vienne en contact avec la face du roulement ; poursuivre le serrage en faisant tourner doucement la roue jusqu'à obtenir un léger blocage afin de supprimer les matelas de graisse.  
Desserrer légèrement (1/8 de tour environ) jusqu'à obtenir la libre rotation de la roue.  
Dans tous les cas, veiller à maintenir un jeu nul entre roue et fusée.  
Faire correspondre le trou de goupillage le plus proche, de préférence dans le sens serrage.

➤ Sur le manuel GCE :

(21) Visser et serrer la vis de fixation (4) de la roue jusqu'à ce qu'elle vienne en contact avec la face du roulement et que la roue soit légèrement bloquée puis dévisser la vis (4) d'un huitième de tour environ, de façon à ce qu'elle tourne librement et sans jeu axial. Le jeu axial maximum permis est de 0,150 mm.

Ainsi, le terme « léger blocage » du GCE prend une valeur toute particulière lorsqu'il est comparé au « léger freinage ». Dans le premier cas, il faut comprendre que l'opérateur doit continuer à serrer l'écrou de fixation jusqu'à ce qu'il ne puisse plus tourner la roue avec un léger effort. Dans le deuxième cas, le léger freinage s'entend par le ralentissement de la vitesse de rotation.

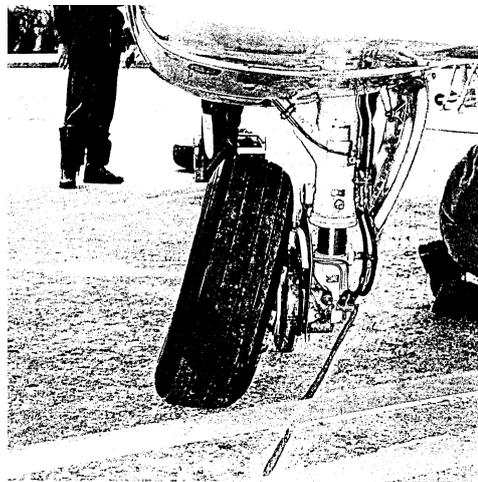
Le terme « contact dur » peut également apparaître difficile à interpréter.

Le 30 mai 2007, lors de la dernière intervention sur la roue gauche, l'opérateur a utilisé la carte 0304 de la V1N2 du JCE AN120-20 qui est le document le plus succinct sur les directives liées à la procédure de montage et également sur les dispositions à prendre pour contrôler les pièces (roulements, cages, entretoises de blocage).

**Les différents témoignages recueillis au cours de l'enquête ont montré que les termes employés dans la documentation technique étaient sujets à interprétation. Cette difficulté de compréhension peut ainsi favoriser une erreur de montage de la roue et conduire à un serrage inadapté.**

#### 2.2.2.2 Evénement similaire en 2002

Le 28 février 2002, un Xingu de la marine nationale est immobilisé sur le taxiway. Pendant le roulage, avant décollage, l'équipage perçoit des vibrations au niveau des trains principaux au moment où il tente de virer vers la gauche. L'équipage ne parvient pas à diriger l'appareil et l'immobilise immédiatement. Il est alors constaté que la roue principale gauche était désolidarisée, inclinée à 30 degrés environ, avec la fusée reposant directement sur la jante. Les éléments de fixations (circlips, cache, goupille de sécurité et roulement extérieur) ont été retrouvés aux abords de la piste, à une centaine de mètres environ en amont de l'appareil immobilisé.



*Photo 20: vue de la désolidarisation de la roue du train principal gauche en février 2002*

Une enquête a alors été conduite par l'organisme<sup>25</sup> afin de déterminer les causes de cet incident. Deux hypothèses ont alors été envisagées :

- un serrage excessif de la roue ;
- ou un mauvais montage de l'entretoise de blocage.

Une demande d'expertise technique du train principal gauche et des éléments de fixations retrouvés sur la piste a été formulée mais les pièces n'ont jamais été envoyées. Une proposition de modification de la documentation technique<sup>26</sup> a été recommandée suite à cet événement afin d'y insérer une nouvelle procédure de pose de la roue principale, incluant la spécification d'un couple de serrage.

---

<sup>25</sup> Le BEAD-air est en charge des enquêtes techniques depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2003

<sup>26</sup> Manuel d'entretien constructeur GCE 120-05

L'autorité d'emploi a alors recommandé aux flottilles d'appliquer un couple de serrage de 5 daN.m. Cette modification de la procédure de pose des roues principales n'a jamais été validée par le constructeur et par conséquent, la documentation technique n'a jamais été modifiée. La carte de travail utilisée le 30 mai 2007 ne fait pas état d'un couple de serrage. Suite aux entretiens menés avec différents mécaniciens, il est apparu que la documentation technique (manuel d'entretien ou carte de travail) utilisée ne spécifiait aucun couple de serrage.

A chaque réunion technique annuelle entre le constructeur et les organismes utilisateurs du Xingu (marine nationale, armée de l'air), la problématique du couple de serrage appliqué lors du montage de la roue du train principal est abordée. Suite à l'événement de 2002, l'autorité d'emploi a demandé au constructeur de spécifier un couple de serrage dans la procédure de montage de la roue du train principal. Le constructeur (Embraer) a toujours expliqué qu'il n'était pas favorable à l'application d'un couple de serrage systématique, la procédure actuelle étant confirmée par le constructeur des atterrisseurs (Messier-Bugatti). Néanmoins, en novembre 2004, le constructeur accepte de revoir sa position et demande alors à l'autorité d'emploi de proposer une modification de la documentation technique. A ce jour, le constructeur Embraer n'a jamais rien reçu et ce sujet n'est plus abordé en réunion annuelle.

**Un événement similaire s'était produit en février 2002. Les mesures mises en place à la suite de cet incident n'ont pas permis d'éviter qu'il ne se reproduise.**

### **2.3 Gestion de l'événement**

Ce chapitre envisage la gestion de l'événement à partir du moment où la tour de contrôle annonce à l'équipage la perte de la roue du train principal gauche.

L'analyse repose principalement sur l'étude de la transcription des communications radio, complétée par des témoignages et permet de tirer des enseignements relatifs à la gestion du vol après la perte de la roue.

Des éléments significatifs peuvent être ainsi soulignés :

- le contrôleur a annoncé immédiatement à l'équipage la perte de la roue et l'a informé du déclenchement de l'alerte Sécurité. La réaction de l'équipage a été sereine, et il a décidé de ne pas rentrer le train. Il s'est mis en hippodrome d'attente, vertical terrain afin d'analyser la situation après l'avoir annoncé au contrôleur ;

**Le contrôleur a eu une perception complète de la situation, ce qui lui a permis d'anticiper sur la gestion du trafic et de préparer efficacement les secours.**

- rapidement, une équipe au sol s'est constituée et est restée en liaison radio permanente avec l'équipage. Cette équipe était composée du commandant de la base, de l'OSA de la base et du commandant de la flottille ;
- plusieurs passages proches de la tour ont été effectués, à très basse altitude, ce qui a permis de constater l'intégrité du disque de freins ;
- le commandant de base est intervenu rapidement pour faire un bilan des hypothèses de travail ;

**L'intervention rapide du commandant de base, qui annonce formellement le plan d'actions et l'objectif, a permis de rassurer l'équipage. Le commandant de bord a pris conscience qu'il n'était pas seul face à son problème.**

- l'équipage et l'équipe au sol ont discuté des options trains rentrés ou trains sortis. Ces échanges d'informations ont été un soutien technique et humain. A chaque avis donné par l'équipe au sol, la porte restait ouverte pour une décision finale au commandant de bord ;

**En communication constante avec l'équipage, le commandant de base a pris garde à ne pas imposer son point de vue. Il a agi en tant qu'aide à la décision du commandant de bord.**

- la gestion du carburant n'a été effectuée que par l'équipage. L'équipe de gestion de crise au sol n'a pas demandé une lecture des jaugeurs, des débitmètres et du totalisateur afin de valider l'heure d'atterrissage donnée par le commandant de bord : un risque d'erreur aurait pu se produire en réaction au stress ;
- l'équipe au sol a demandé un avis technique aux pilotes Xingu de l'armée de l'air à Avord. Ce soutien technique a été fortement apprécié par l'équipage ;
- l'efficacité de la dirigeabilité hydraulique de la roulette de nez a été abordée : l'équipe au sol a tout d'abord dit à l'équipage qu'elle serait efficace, mais plus tard cette information a été contre-dite. Les informations transmises à l'avion n'étaient pas validées. Ainsi, Le commandant de bord a tenté d'utiliser la roulette de nez à l'atterrissage, sans connaître son degré d'efficacité ;
- le contrôleur a demandé au commandant de bord ses intentions lorsqu'il a vu l'alticodeur augmenter. Le pilote a répondu qu'il effectuait des essais de manoeuvrabilité. La surveillance constante et efficace du contrôleur a rassuré l'équipage ;
- l'équipage a envisagé dans un premier temps un atterrissage trains sortis volets 100 % et a effectué deux essais de présentation. L'équipe au sol a ensuite proposé de limiter le braquage des volets à 35 % pour l'atterrissage. Cette solution a conforté le commandant de bord dans un schéma mental qu'il avait pré-établi pour un avion piloté auparavant (Falcon 50). L'équipage a alors tenté une présentation volets 35 %. Cet essai fructueux s'est avéré être son choix final ;
- l'utilisation de la double fréquence 123.2 et 119.9 a généré quelques confusions ;

**De manière générale, la perception de la situation a été partagée par chacun des protagonistes. Chaque personne a joué un rôle qui s'est inscrit dans une dynamique globale. Cette situation a été bénéfique en terme de synergie et a permis une prise de décisions efficace dans la gestion de l'événement.**

### **3 CONCLUSION**

#### **3.1 Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement**

- La perte de la roue du train principal gauche du Xingu s'est produite le 03 octobre 2007 lors d'une mission d'entraînement en tours de piste, au cours d'une série de « *touch and go* » ;
- Les expertises techniques ont révélé un erreur de montage de la roue : une insuffisance de serrage des vis de fixation de la roue ;
- Le mécanicien qui a réalisé la dernière opération de montage de la roue le 30 mai 2007 était en formation. C'était la première fois qu'il réalisait cette opération ;
- Lors du montage de la roue, le mécanicien était autonome. A l'issue de cette opération, il n'a pas été contrôlé ;
- Un événement similaire s'est produit sur un Xingu en février 2002, au cours du roulage.

#### **3.2 Mécanismes de l'événement**

Une erreur de montage, consistant en un serrage insuffisant de la vis de fixation, est à l'origine de la perte de la roue. Cette insuffisance de serrage a entraîné une dégradation du roulement extérieur, une rupture brutale des pions de guidage de l'entretoise, puis une désolidarisation de l'ensemble des pièces de fixation de la roue.

Des causes liées au domaine du facteur humain et au domaine technique sont à l'origine de cet événement :

- un raté d'exécution du mécanicien qui effectue seul l'opération de montage pour la première fois et sans supervision ;
- la formation « sur le tas » des personnels des services techniques n'est pas standardisée, ce qui a entraîné un manque de suivi et d'encadrement ;
- les termes employés dans les cartes de travail relatives au montage de la roue sont imprécis et sujets à interprétation, ce qui a pu favoriser une erreur lors de l'opération de montage ;
- les mesures prises à la suite d'un événement similaire ont été insuffisantes.

#### **4 RECOMMANDATIONS DE SECURITE**

## 4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement

### 4.1.1 Procédure de montage de la roue du train principal du Xingu

- Cet événement a montré que la procédure de montage de la roue établie dans le manuel constructeur était imprécise et les termes employés pour qualifier le serrage suscitaient des interprétations.

En conséquence, le Bureau enquêtes accidents défense air recommande :

**à la SIMMAD, en concertation avec le constructeur, la marine nationale et l'armée de l'air de mettre en place des actions afin de lever les ambiguïtés de terminologie relevées dans la procédure de montage de la roue, ou à défaut d'une telle démarche, d'établir une proposition de modification de la documentation technique relative à cette procédure.**

- Lors du contrôle du parc Xingu à l'issue de l'incident, il a été constaté que des pions de guidage étaient endommagés sur plusieurs avions, résultat d'un forçage lors de la mise en place de ces pions dans leur logement.

En conséquence, le Bureau enquêtes accidents défense air recommande :

**à la SIMMAD, en concertation avec le constructeur, la marine nationale et l'armée de l'air d'insérer un contrôle systématique de l'état des pions de guidage lors de chaque intervention nécessitant la dépose de la roue, et de définir alors le critère de rebus de ces pièces.**

### 4.1.2 Formation des techniciens « sur le tas »

L'enquête a révélé que les directives de formation « sur le tas » n'étaient pas appliquées au sein de la flottille.

**Le BEAD-air rappelle le bien-fondé de ces directives relatives à la formation « sur le tas », et la nécessité de les appliquer.**

- Des défauts d'encadrement ont été mis en évidence lors de l'enquête et sont un facteur contributif à l'incident.

En conséquence, le Bureau enquêtes accidents défense air recommande :

**au commandement de la force aérienne navale de mettre en place des actions afin de s'assurer que :**

- **tout opérateur non qualifié soit supervisé de manière permanente par un personnel qualifié et dûment désigné par le chef de visite ;**
- **l'ensemble des personnels en formation fasse l'objet d'un suivi permanent ;**
- **la mise à jour et le contrôle des livrets de formation soient effectués par l'encadrement, et non par les opérateurs eux-mêmes.**

#### ***4.1.3 Manque de synergie au sein de l'équipe technique***

Un manque de synergie au sein de l'équipe technique a été souligné au cours de l'enquête technique.

En conséquence, le Bureau enquêtes accidents défense air recommande :

**au commandement de la force aérienne navale de s'assurer que l'ensemble des personnels de maintenance soit formé au MRM<sup>27</sup>.**

## **4.2 Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement**

### ***4.2.1 Conduite de l'enquête technique***

La collecte d'informations et la constatation des faits sont deux étapes primordiales pour la compréhension de l'événement.

**Le BEAD-air rappelle l'importance du gel des lieux en limitant autant que possible l'accès à l'épave ou à l'appareil endommagé et de sensibiliser l'ensemble des personnels sur l'importance de la traçabilité des pièces retrouvées ou des indices.**

<sup>27</sup> MRM : *maintenance resource management* – gestion des ressources de maintenance.

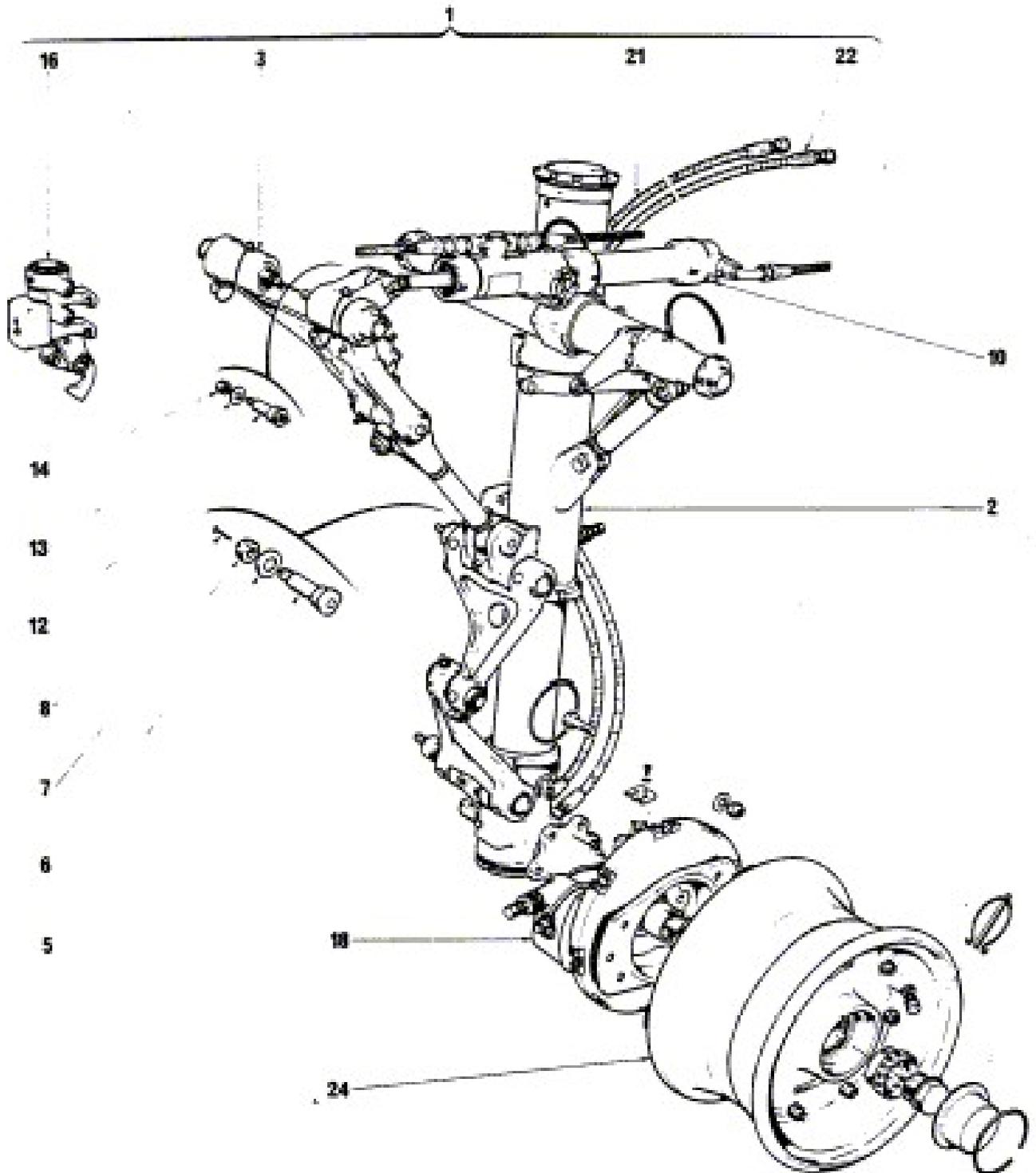
## **ANNEXES**

Annexe 1 : Composition du train d'atterrissage \_\_\_\_\_ page 46

Annexe 2 : Dommages observés sur chaque pièce \_\_\_\_\_ page 49

# 1 COMPOSITION DU TRAIN D'ATERRISSAGE

## 1.1 Vue d'ensemble



## 1.2 Détails de la fixation de la roue

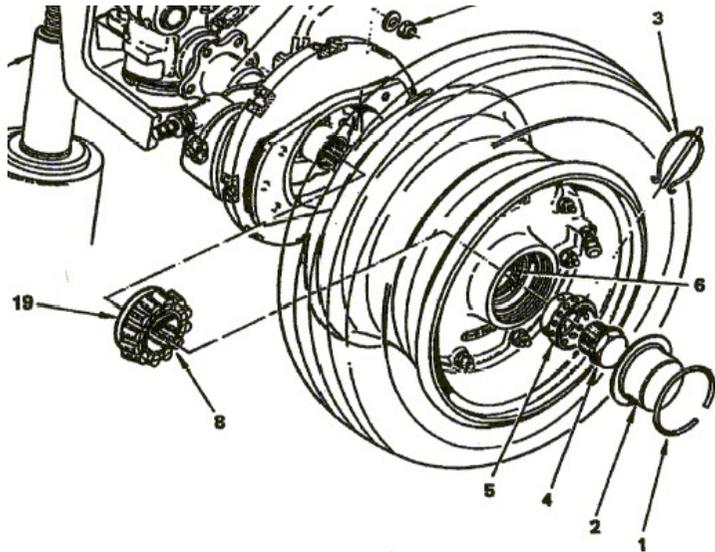
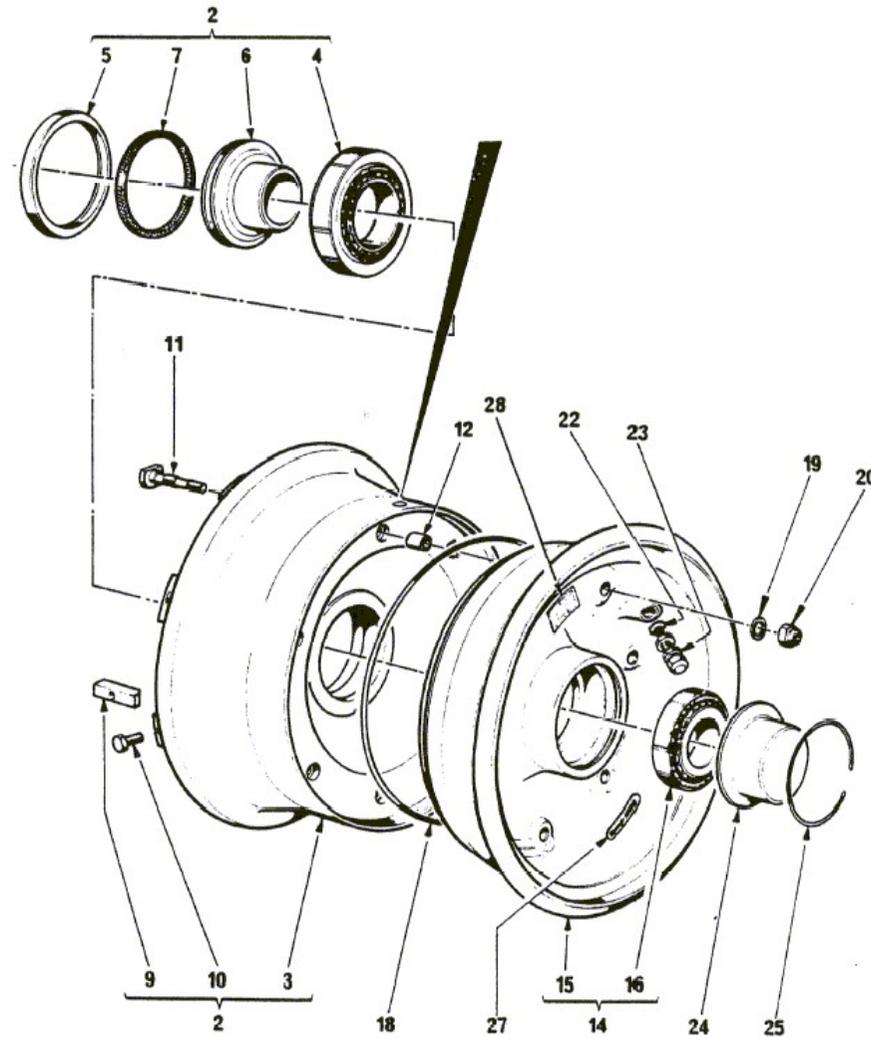


Figure ci-dessus : roue avec roulement externe en place dans la roue :

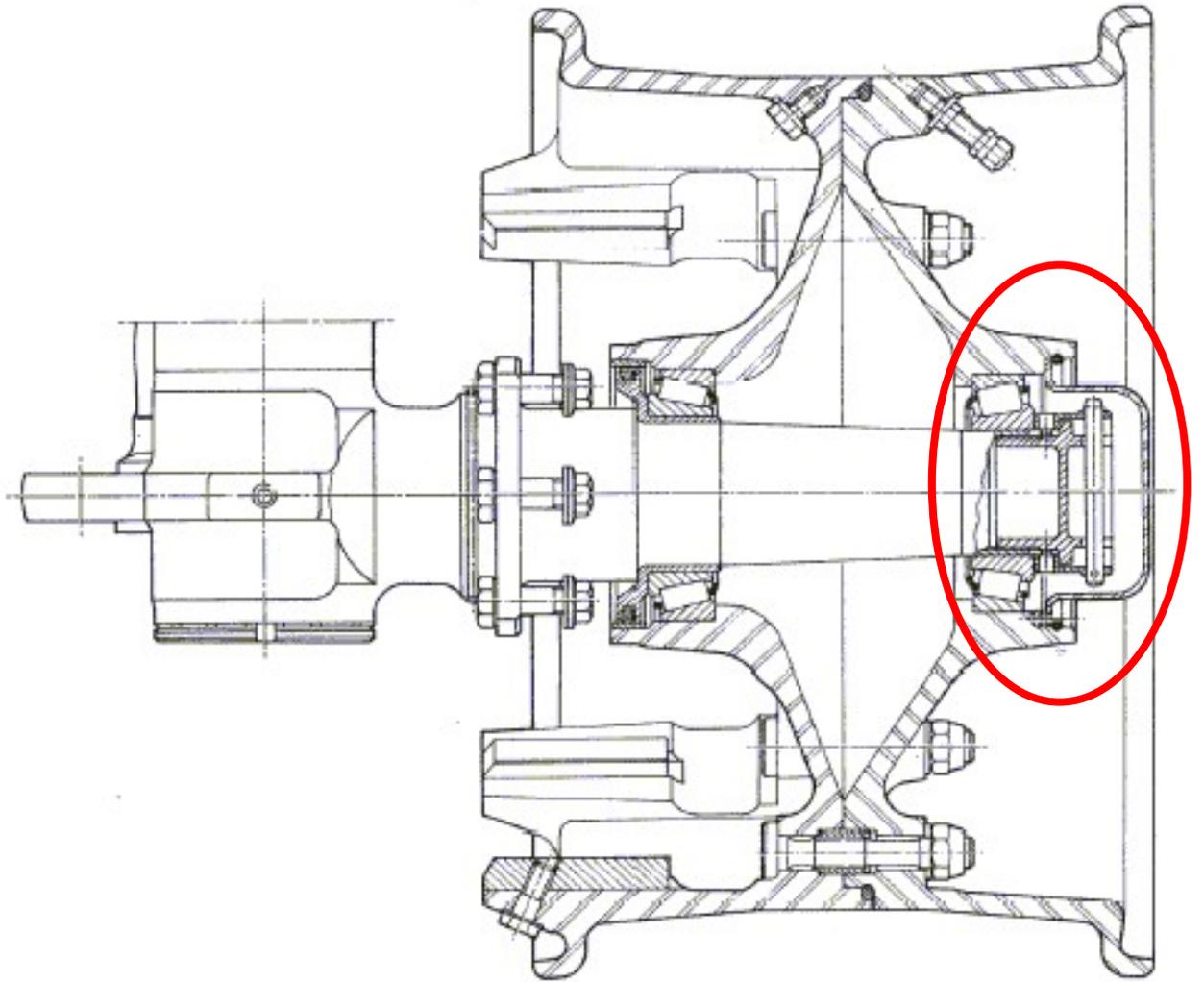
1. Jonc
2. Cache moyeu
3. Epingle de sécurité
4. Erou
5. Entretoise de blocage
6. Roulement extérieur
8. Roulement intérieur
19. Cage interne du roulement intérieur

Figure ci-contre : roue sans l'écrou ni la goupille :

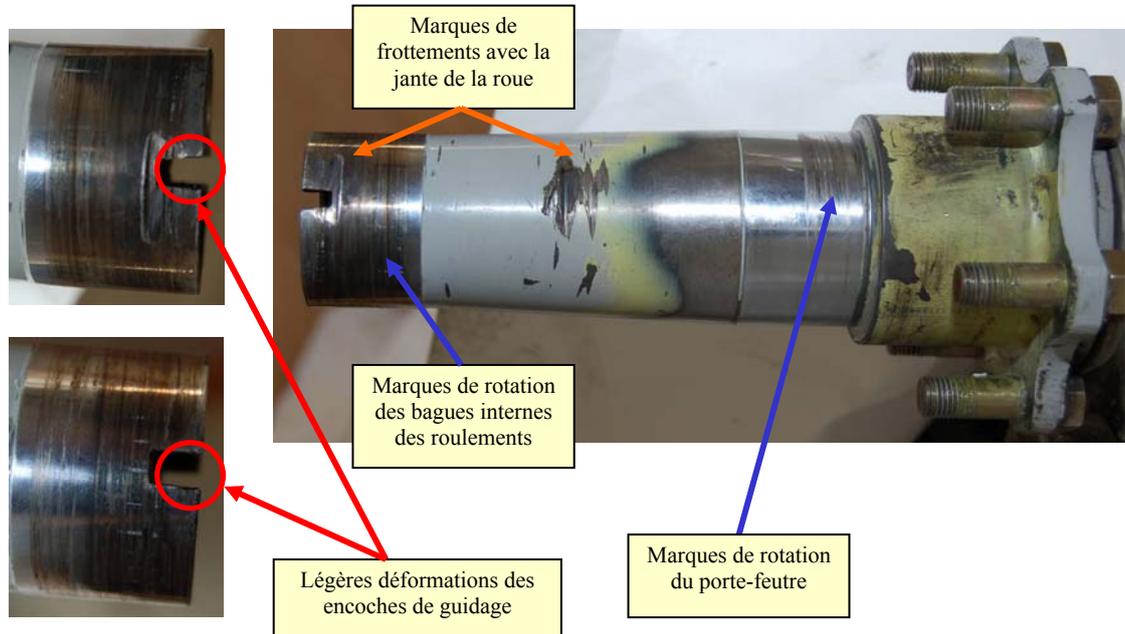
4. Roulement intérieur
6. Bague interne du roulement intérieur
16. Roulement extérieur
24. Cache moyeu
25. Jonc



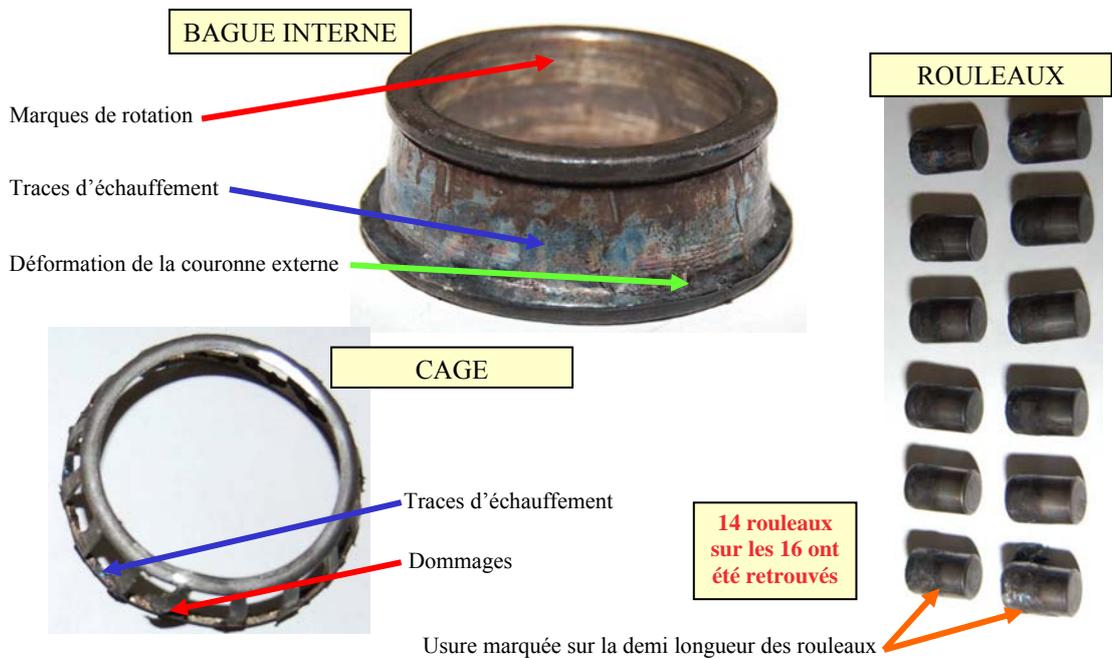
### 1.3 Vue en coupe de la roue sur la fusée avec ses roulements et son écrou de fixation



## 2 DOMMAGES OBSERVES SUR CHAQUE PIECE



*Figure 1 : analyse des dommages sur la fusée de l'atterrisseur*



*Figure 2 : analyse des dommages sur le roulement interne*

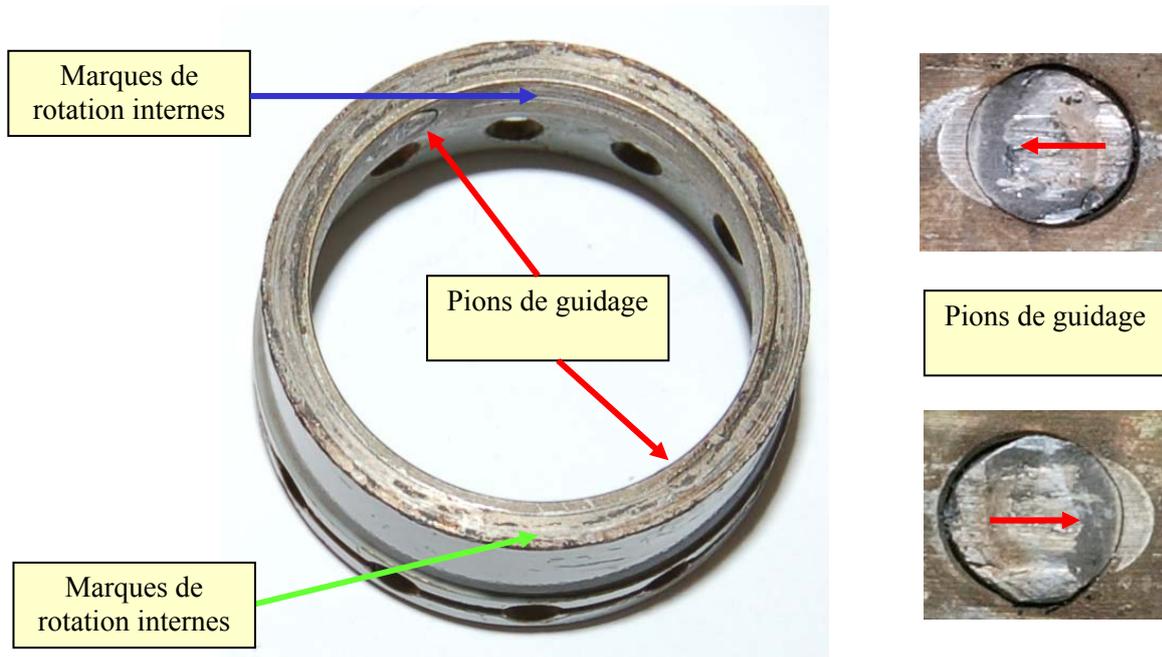


Figure 3 : analyse des dommages sur l'entretoise de blocage

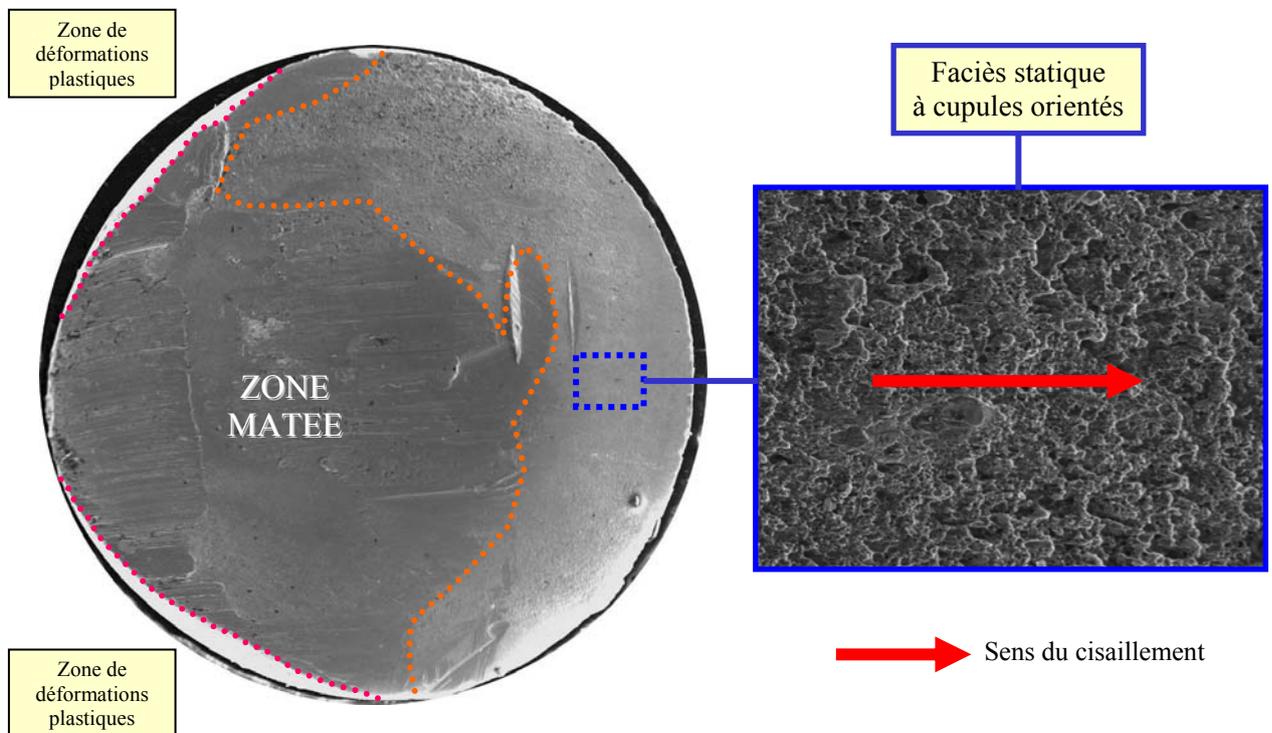


Figure 4 : faciès de rupture du pion de guidage situé sur l'entretoise de blocage