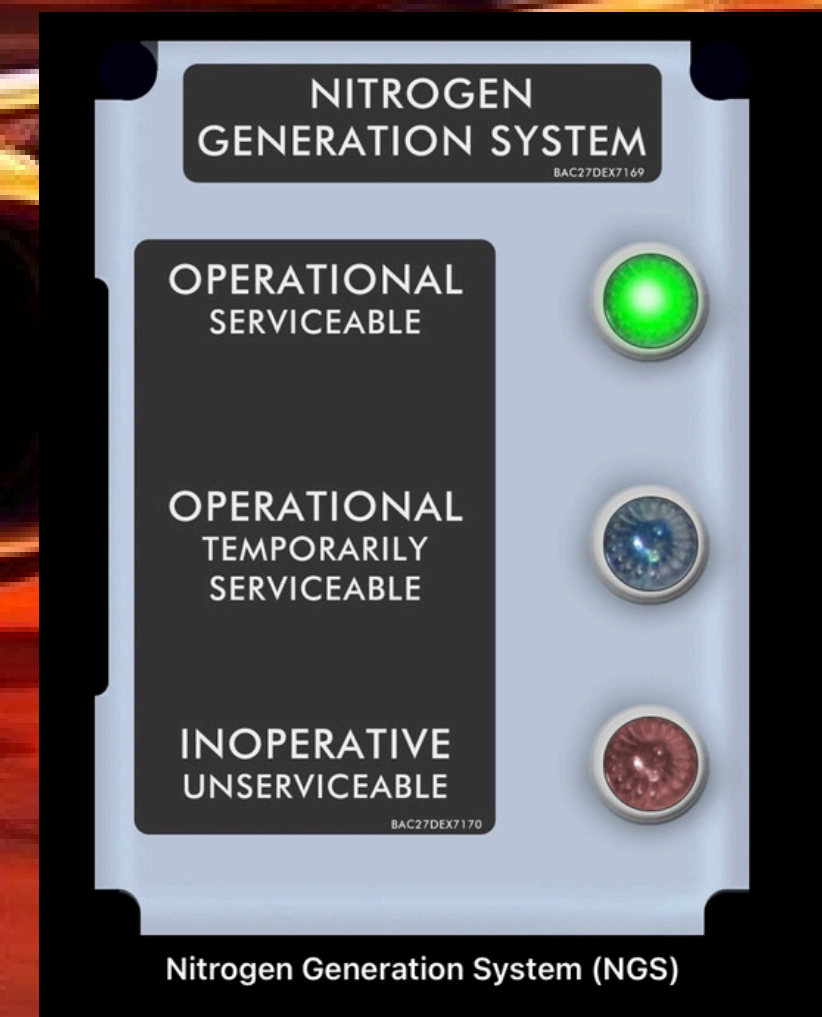


Nitrogen Generation System



Le générateur d'azote : sécurisation des réservoirs de carburant aériens

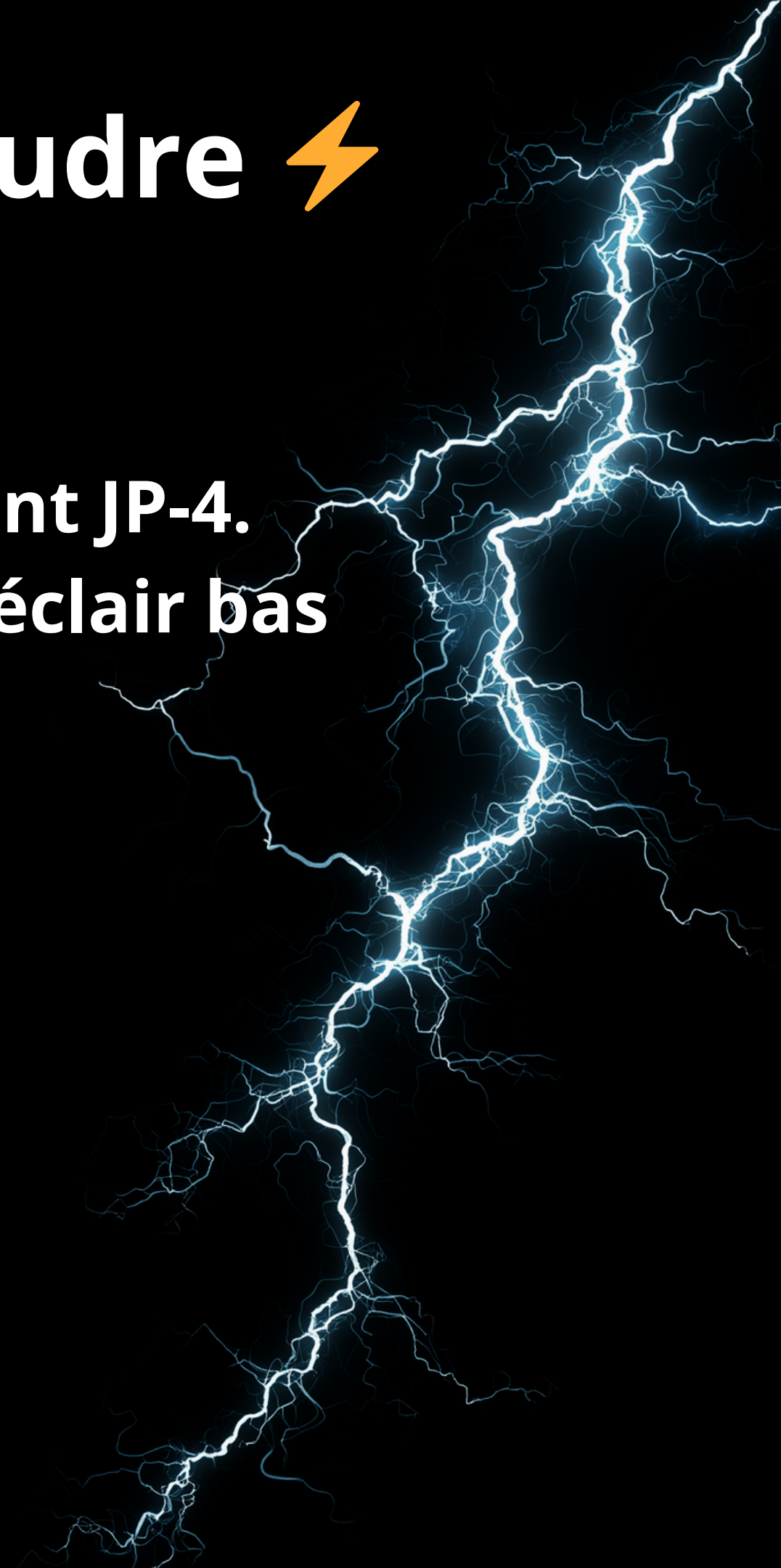
Les explosions de réservoirs de carburant, responsables de centaines de morts depuis 1959, ont conduit à des enquêtes rigoureuses et à l'implémentation de systèmes de sécurité avancés. Le Nitrogen Generation System (NGS), qui régularise les réservoirs en réduisant le niveau d'oxygène, est la solution high-tech qui a rendu ces accidents "impossibles" depuis sa mise en œuvre, illustrant un progrès significatif dans la sécurité aérienne.



1. Les premiers drames : la foudre ⚡

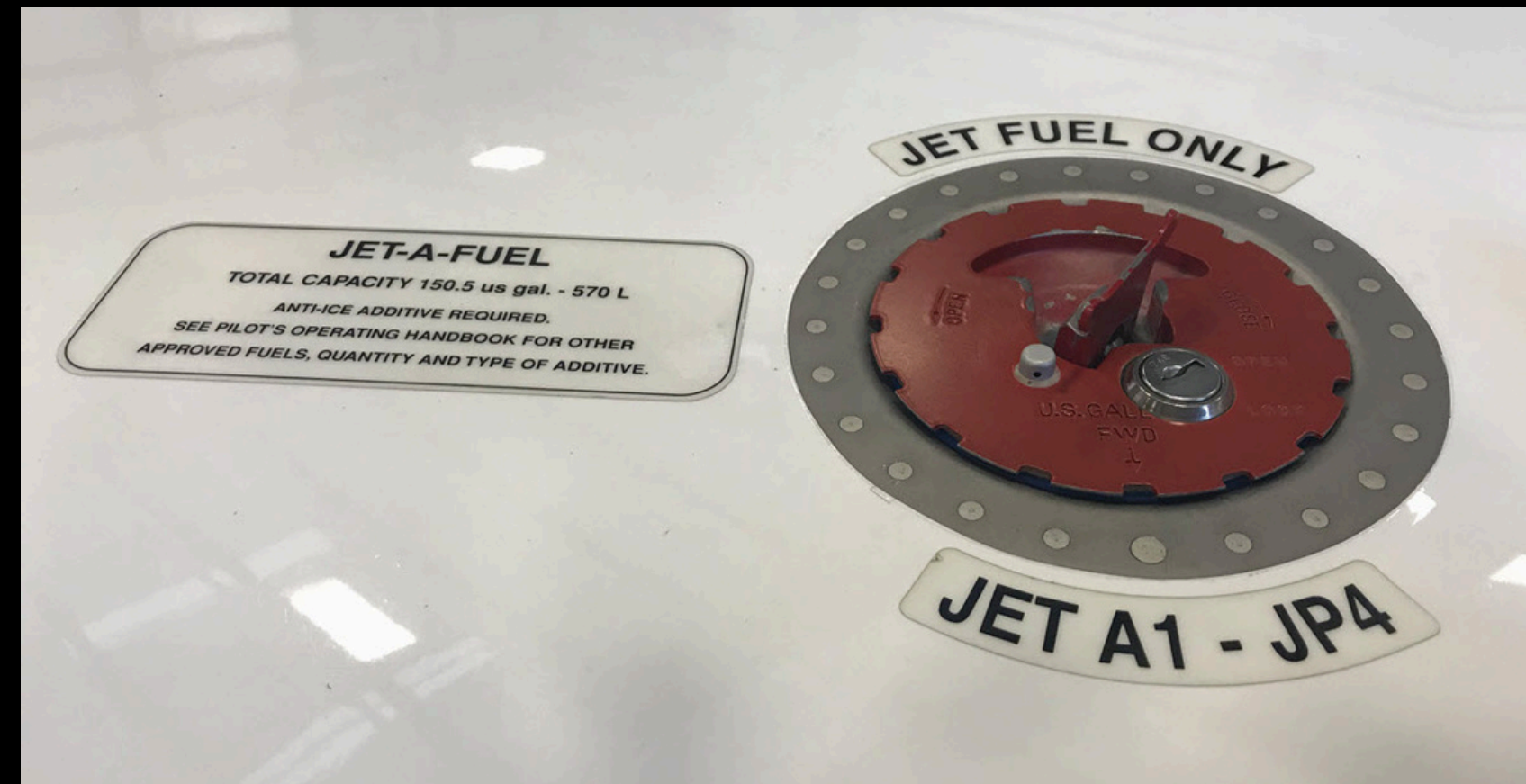
1.1. Contexte historique

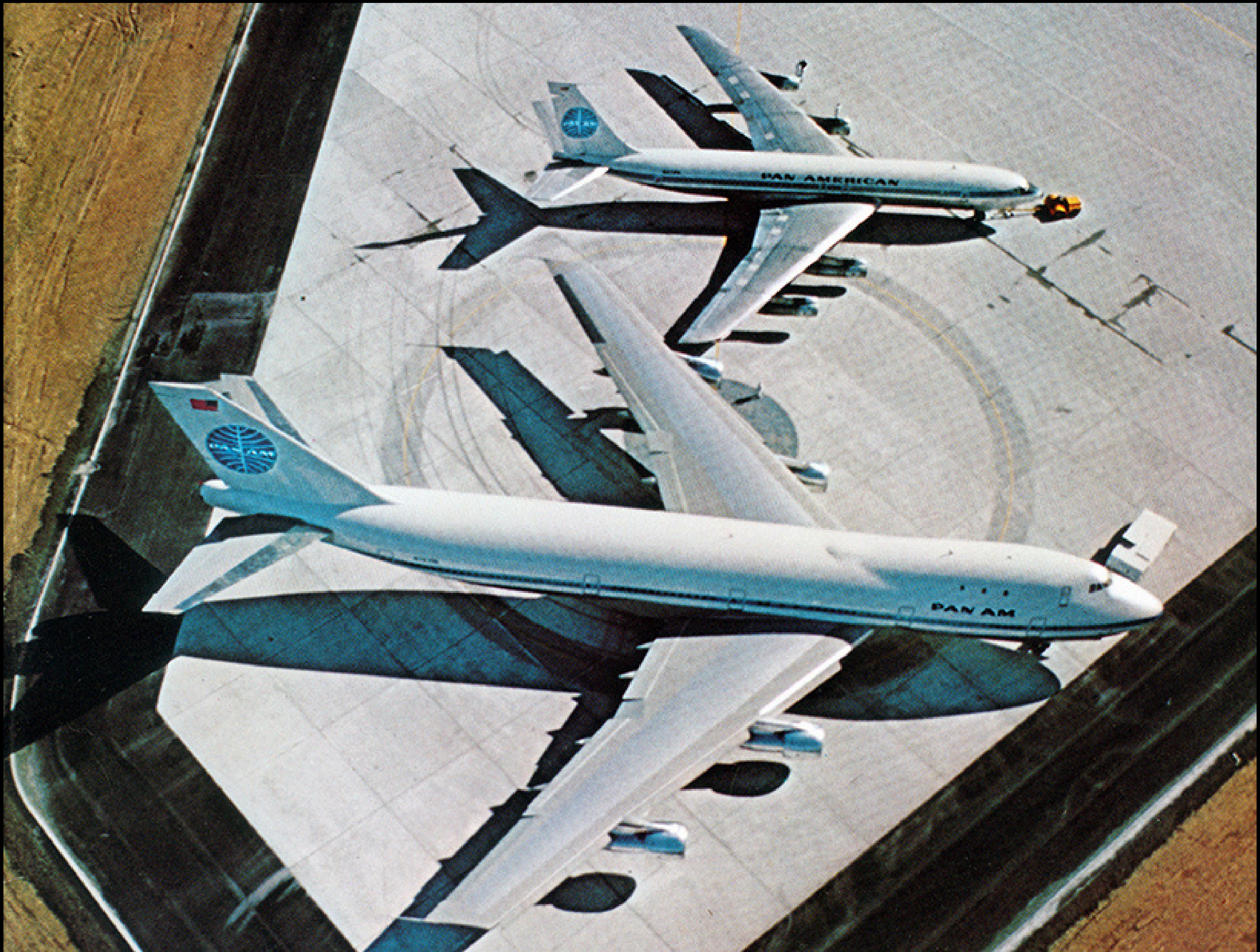
- **Années 1960 : essor des jets et utilisation du carburant JP-4.**
- **Caractéristiques du JP-4 : kérosène instable, point d'éclair bas (s'enflamme à froid), accumule l'électricité statique.**
- **Conséquence: étincelles fatales.**



1.2. Catastrophes Majeures

- **1963**, Londres-Heathrow : Boeing 707 d'El Al frappé par la foudre.
- Explosion d'un réservoir d'aile, destruction de l'avion, tous les occupants périssent.
- **1976**, Madrid: Boeing 747 d'American Airlines frappé par la foudre.
- Explosion dans l'aile, avion anéanti, zéro survivant.
- Les deux incidents impliquaient un mélange **JP-4 et Jet A**.

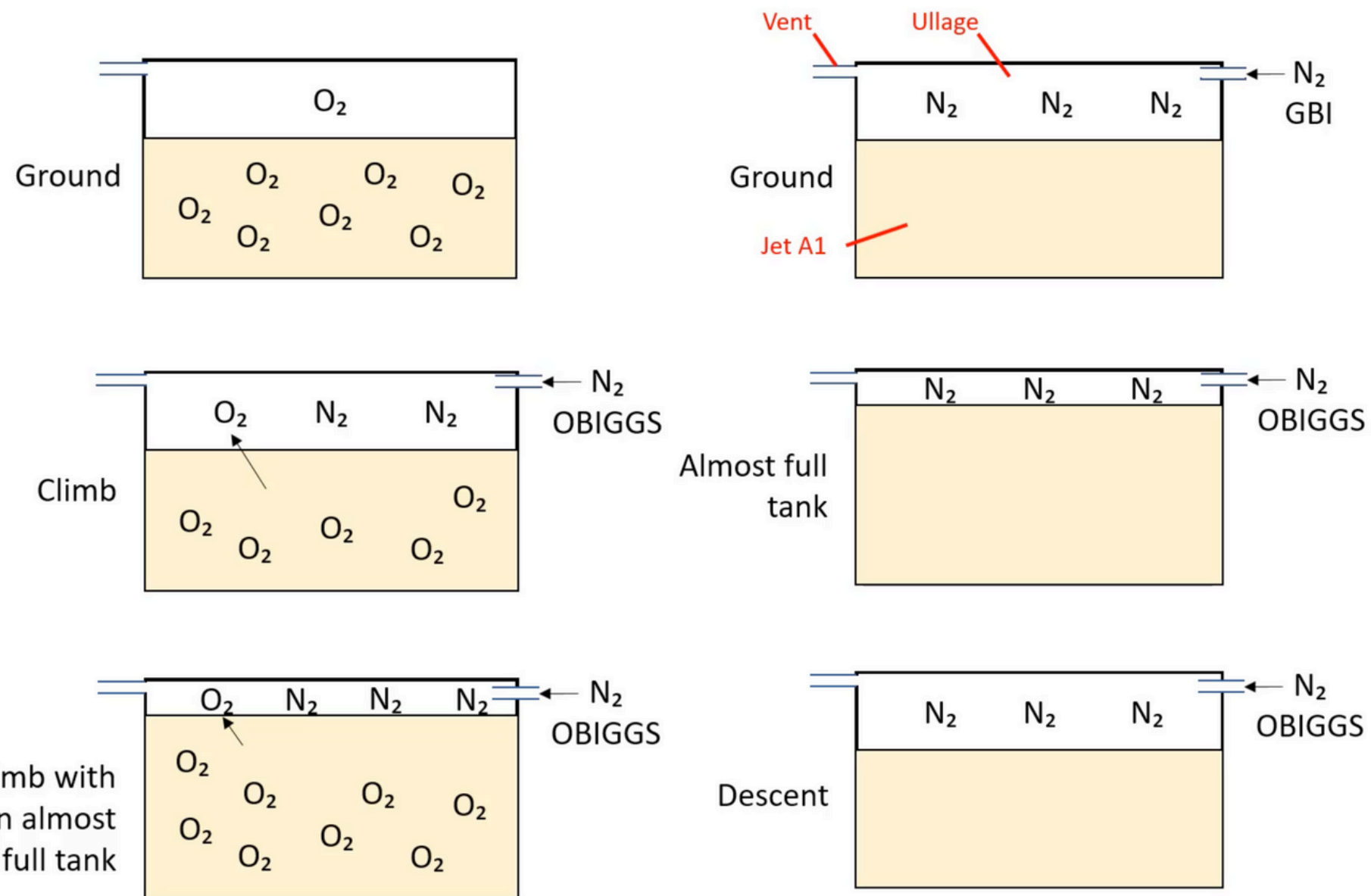




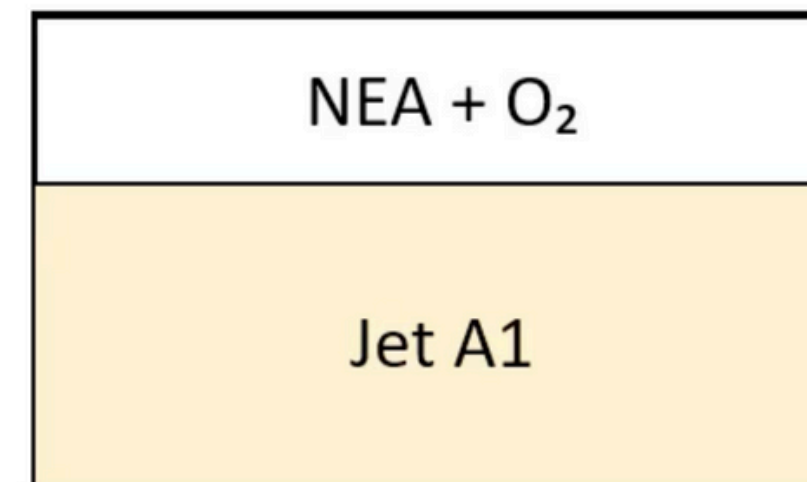
1.3. Évolution des Carburants et Problèmes Persistants

- **Années 1980** : Retrait du JP-4 au profit du Jet A (plus stable).
- **Problème persistant** : même "vide", les réservoirs contiennent des résidus qui s'évaporent sous la chaleur, créant des vapeurs inflammables.
- **Ajout d'air (oxygène)** crée un cocktail explosif.
- **Sources d'allumage** : foudre, câbles défectueux, chaleur des packs de clim' sous le réservoir central.
- **Analogie** : bouteille d'essence dans un garage chaud – une allumette invisible (câbles usés, étincelles électriques) suffit.

Atmospheric Gases	Atmospheric Ratio
Oxygen	21%
Nitrogen	78%
Other	1%

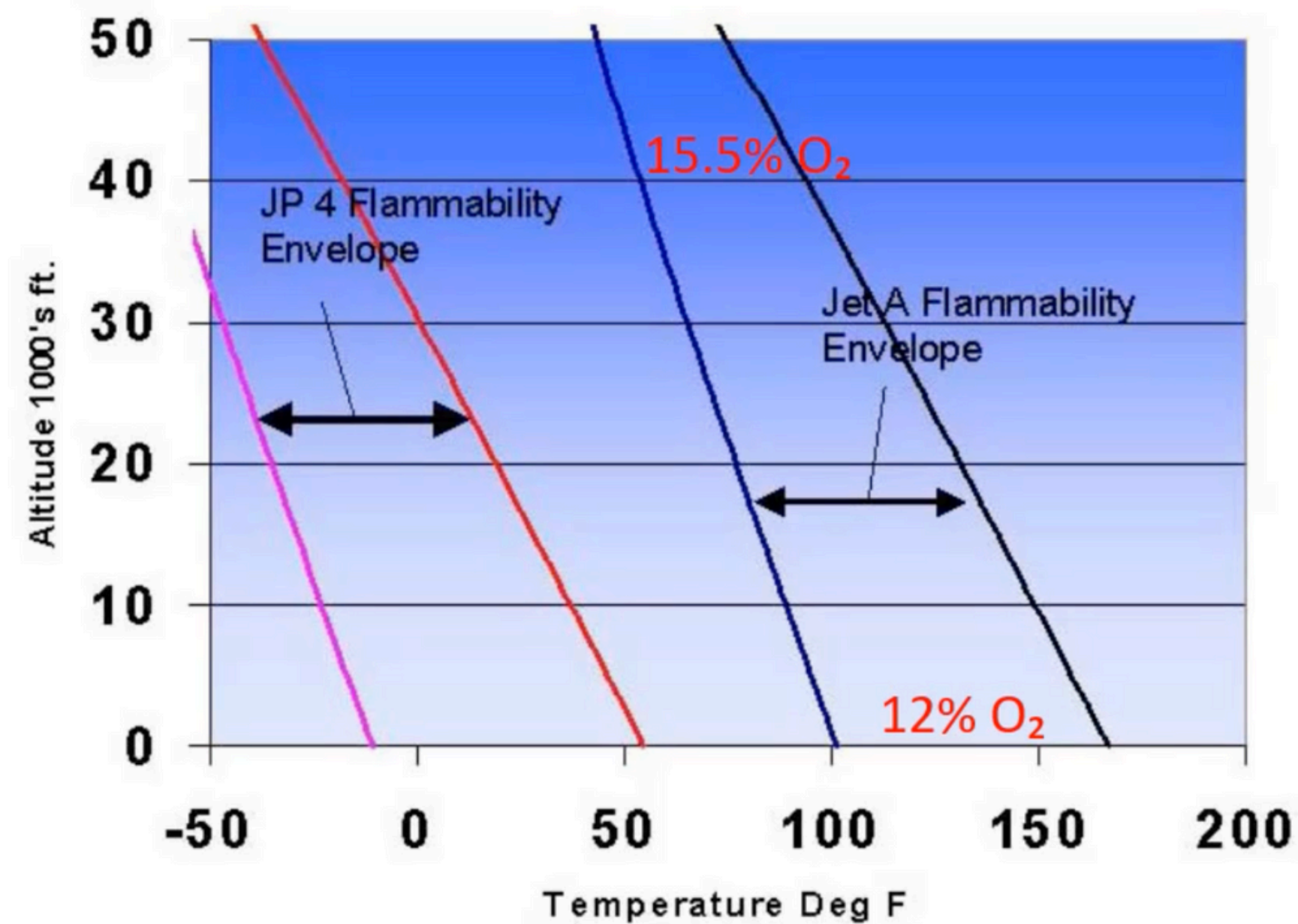


MSL
O₂ < 12%
is safe



FL410
O₂ < 15.5%
is safe

Flammability Envelope



Ignition Sources
Tank Units (32)
Compensators (3)
Densitometers (3)
Fuel pump arcing
Fuel pump burn through
Fuel pump FoD (Thai 737)
Lightning (707 & 747)
Electrostaic
FQIS shorts (TWA800)
Other wiring through tanks
Improper maintenance
Aging systems

Causes of Flammability
Partially empty tanks
High ambient temperatures
Location & use of packs

Any

High
Fuel vapour –
Oxygen mix

+



Ignition Sources
Tank Units (32)
Compensators (3)
Densitometers (3)
Fuel pump arcing
Fuel pump burn through
Fuel pump FoD (Thai 737)
Lightning (707 & 747)
Electrostaic
FQIS shorts (TWA800)
Other wiring through tanks
Improper maintenance
Aging systems

Causes of Flammability
Partially empty tanks
High ambient temperatures
Location & use of packs

Any

Inerting
system

Safe
Fuel vapour –
Oxygen mix

+

No
explosion

2. Les accidents sur Boeing 737

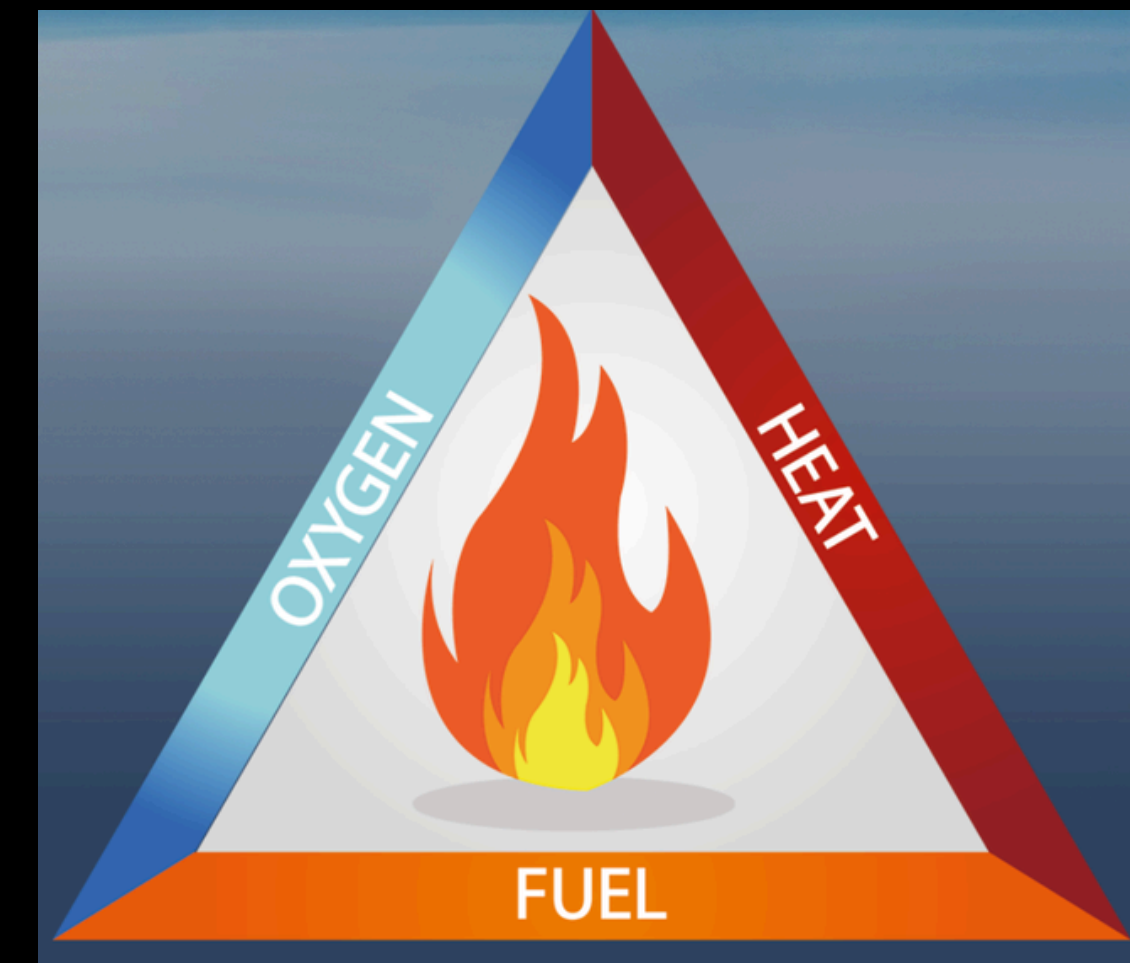
2.1. Incidents Clés

- 5 novembre 1990, Manille : Boeing 737-300 de Philippine Airlines (EI-BZG) explose après le pushback.
- 8 morts. Réservoir central vide, mais packs de clim' (30-45 min) ont chauffé les résidus à 35°C. Cause probable : câble endommagé.
- **17 juillet 1996**, vol TWA 800 : Boeing 747 explose à 12 000 pieds après le décollage de New York.
- 230 morts. Réservoir central vide, chauffé par les packs depuis des heures.
- Enquête NTSB : court-circuit électrique sur le système de jaugeage du carburant cause une surtension, allumant le mélange vapeurs-air.



5 novembre 1990, Manille : Boeing 737-300 de Philippine Airlines (EI-BZG) explose après le pushback.

- Recommandation NTSB : développer des systèmes d'inertage (injecter de l'azote pour chasser l'oxygène) car "opérer avec des mélanges inflammables est un risque inutile."
- **3 mars 2001**, Bangkok : Boeing 737-400 de Thai Airways (HS-TDC) explose au parking.
- 1 hôtesse décède. 36°C, packs en marche depuis le vol précédent, pompes du réservoir central tournant à vide. Cause probable : copeaux de métal dans une pompe.



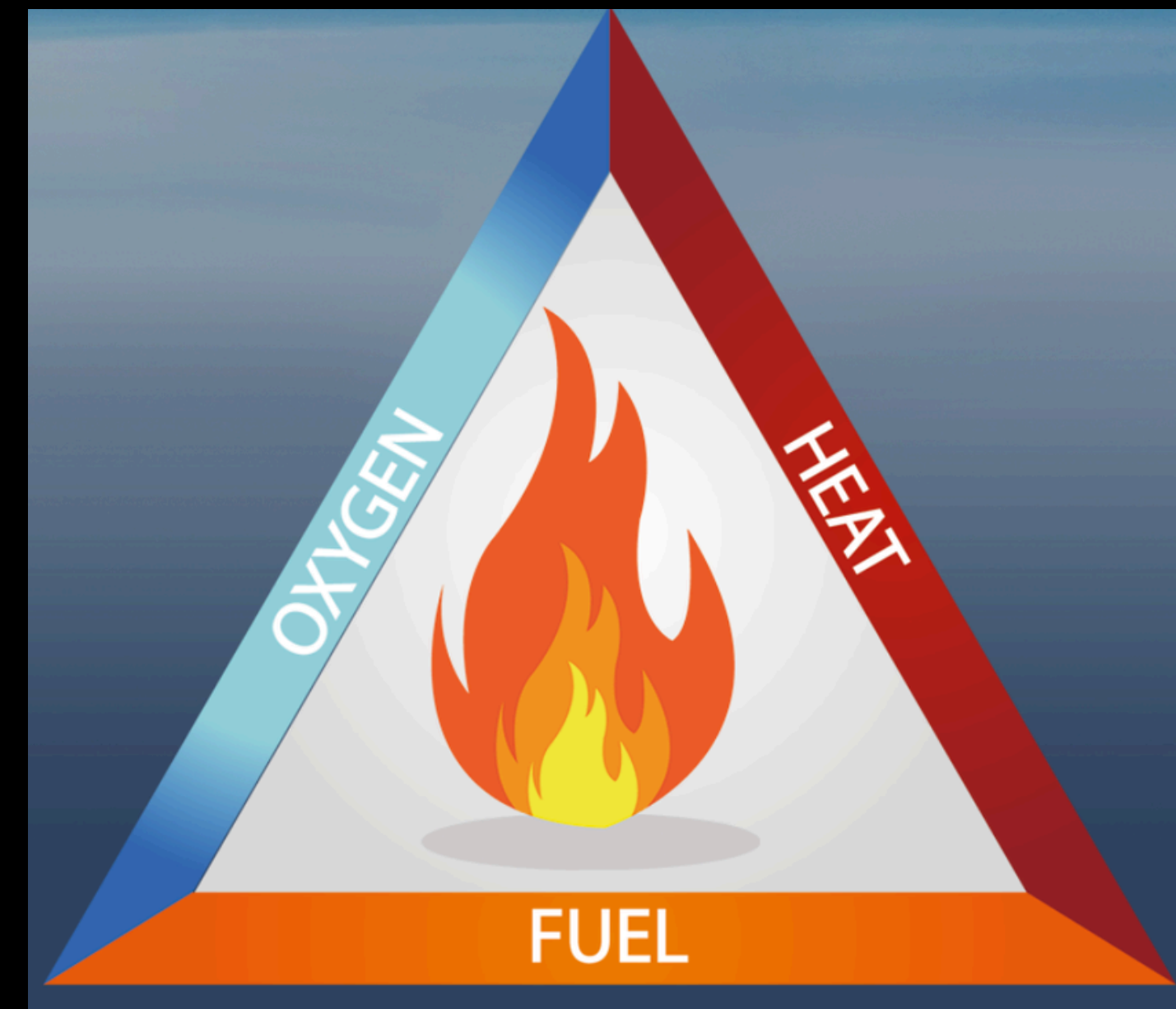


3 mars 2001, Bangkok : Boeing 737-400 de Thai Airways (HS-TDC) explose au parking.



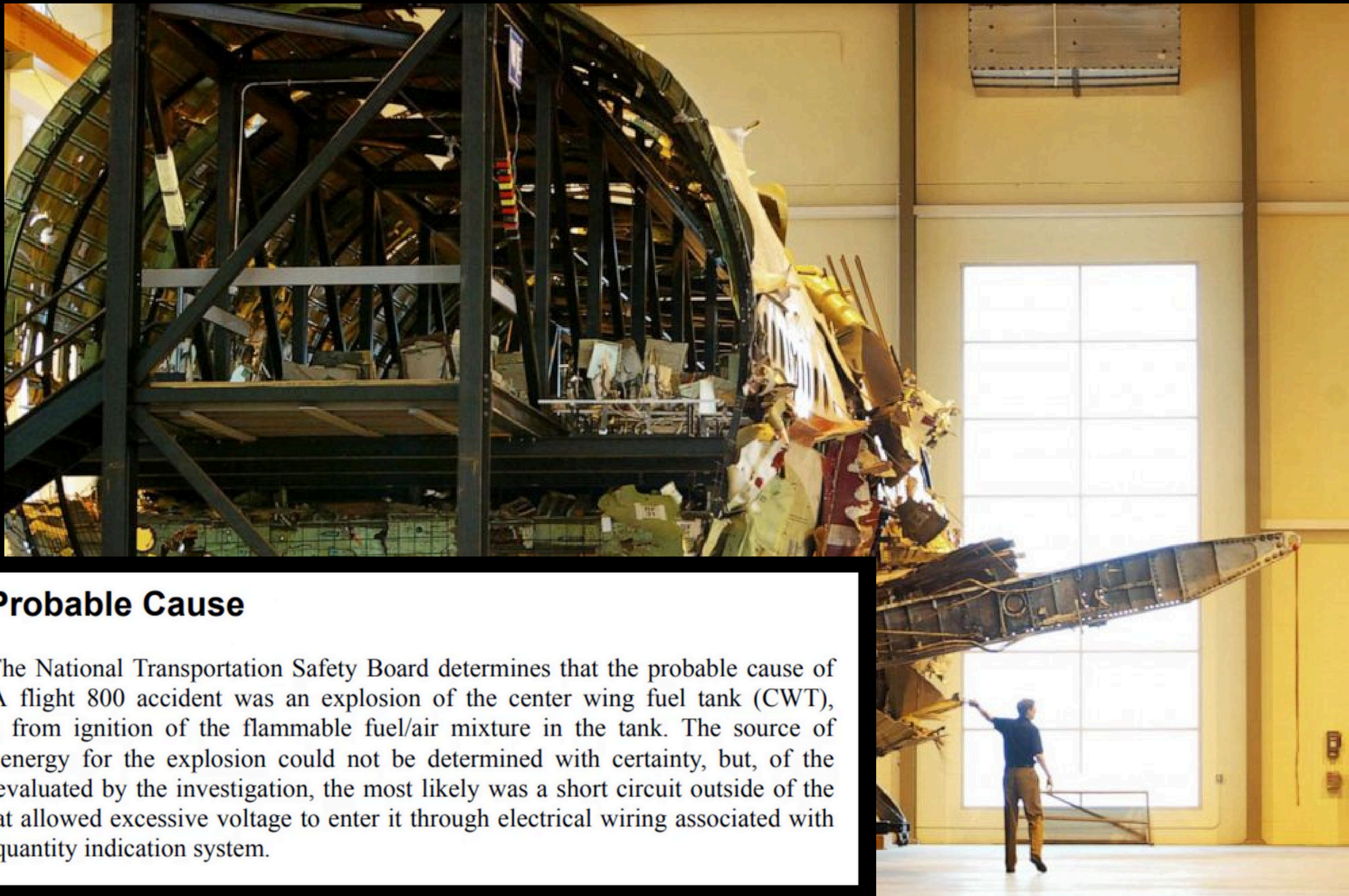
2.2. Leçons Apprises

- Ces drames (**18 depuis 1959**) ont souligné l'urgence d'agir. Pour qu'une explosion se produise, il faut une étincelle ET un mélange inflammable. **Éliminer l'un suffit à prévenir l'explosion.**





**17 juillet 1996, vol TWA 800 : Boeing 747 explose à
12 000 pieds après le décollage de New York.**



3.2 Probable Cause

The National Transportation Safety Board determines that the probable cause of the TWA flight 800 accident was an explosion of the center wing fuel tank (CWT), resulting from ignition of the flammable fuel/air mixture in the tank. The source of ignition energy for the explosion could not be determined with certainty, but, of the sources evaluated by the investigation, the most likely was a short circuit outside of the CWT that allowed excessive voltage to enter it through electrical wiring associated with the fuel quantity indication system.

3. La réponse de la FAA “des règles pour sauver des vies”

3.1. Premières initiatives (Post-TWA 800)

- **1998** : FAA mandate l'ARAC (comité d'experts) pour explorer la réduction de la flamme.
- Verdict : OBIGGS (systèmes d'inertage embarqués) existent mais sont trop lourds, chers et peu fiables.
- **2001** : ARAC confirme que l'inertage pourrait "diminuer" le risque, mais pas encore rentable.



3.2. Réglementations Clés

- 7 mai **2001** : règle FTS (Fuel Tank System) entre en vigueur, créant **SFAR 88** (juin 2001).
- Objectif : 18 mois pour auditer tous les systèmes (réservoirs, pompes, câbles, protection foudre).
- Trois piliers :
 - 1. Concevoir pour prévenir les étincelles.
 - 2. Modifier les avions existants.
 - 3. Adapter la maintenance pour une "navigabilité continue".

- Sur 737 : câbles reroutés, Hot Short Protector, bonds anti-foudre, pompes auto-extinctrices (après 15s de faible pression, dès **2004**), interrupteurs à défaut de terre.
- Directive (AD) 2001-08-24 : interdire les pompes centrales au sol si moins de **453 kg** de carburant.

453 KG





3.3. Limites de **SFAR 88** et évolution

- SFAR 88 ciblait les étincelles, mais les audits ont montré qu'il est impossible de toutes les prédire.
- Constat NTSB : "S'appuyer seulement sur l'élimination des sources d'ignition, en acceptant la flamme, est fondamentalement défaillant."

3.4. Solution Hybride et déploiement de l'inertage

- Objectif : **baisser l'oxygène**.
- Tests au sol (GBI: inertage azote par chariot) sont efficaces, mais flanchent en vol (air entrant par vents, oxygène "bullant" du carburant).
- OBIGGS (Onboard Inert Gas Generation System) est la solution pour un inertage continu en vol.

- **2008** : règle **FTFR** (Fuel Tank Flammability Reduction) est mise en place.
- Exigence : seuil de flamme acceptable dans les réservoirs vulnérables (ex: central), ou inertage.
- Pas de technologie imposée, mais performance obligatoire.
- Résultat : zéro explosion de vapeurs depuis l'application de ces règles.

FTFR

4. Le Système NGS

Le cœur de la sécurité sur Boeing 737

4.1. Présentation du NGS

- NGS : Nitrogen Generation System (système de génération d'azote enrichi).
- N'est pas un générateur d'azote pur, mais enlève l'oxygène de l'air ambiant.
- Produit un mélange "azoté" (12% O2 au sol, 15,5% à 41 000 pieds), suffisant pour la vie mais pas pour la combustion.
- Certification : Boeing 737 NG, certifié en 2006 par Honeywell (après 1 000 heures de tests).
- Installation: depuis 2008 (lignes 2620 +).
- Fonctionnement : automatique, non critique (si U/S, vol autorisé avec MEL de 10 jours max).
- Emplacement : conduit d'entrée d'air ram gauche.
- Analogie: le réservoir devient une pièce où l'air est remplacé par un "coussin" azoté, étouffant toute étincelle potentielle.

4.2. Fonctionnement Détaillé du NGS 1

1.Source d'air : Bleed air du collecteur pneumatique gauche (pression min. 18 psi).

- **Régulé par une vanne (PRSOV) qui ferme si surchauffe ($>107^{\circ}\text{C}$) ou surpression (67 psi).**

2. Pré-traitement:

- **Convertisseur ozone (catalyseur qui transforme l'ozone en oxygène, protège les membranes).**
- **Échangeur thermique refroidit l'air à 71°C (avec air ram).**
- **Filtration pour enlever les poussières (durée: 12 000 heures).**

3. Module de Séparation d'Air (ASM):

- **Utilise des milliers de membranes "fibres creuses".**
- **Petites molécules (O_2 , CO_2 , H_2O) passent plus vite et sont évacuées.**
- **Reste: Air Azoté (NEA).**

4. Distribution:

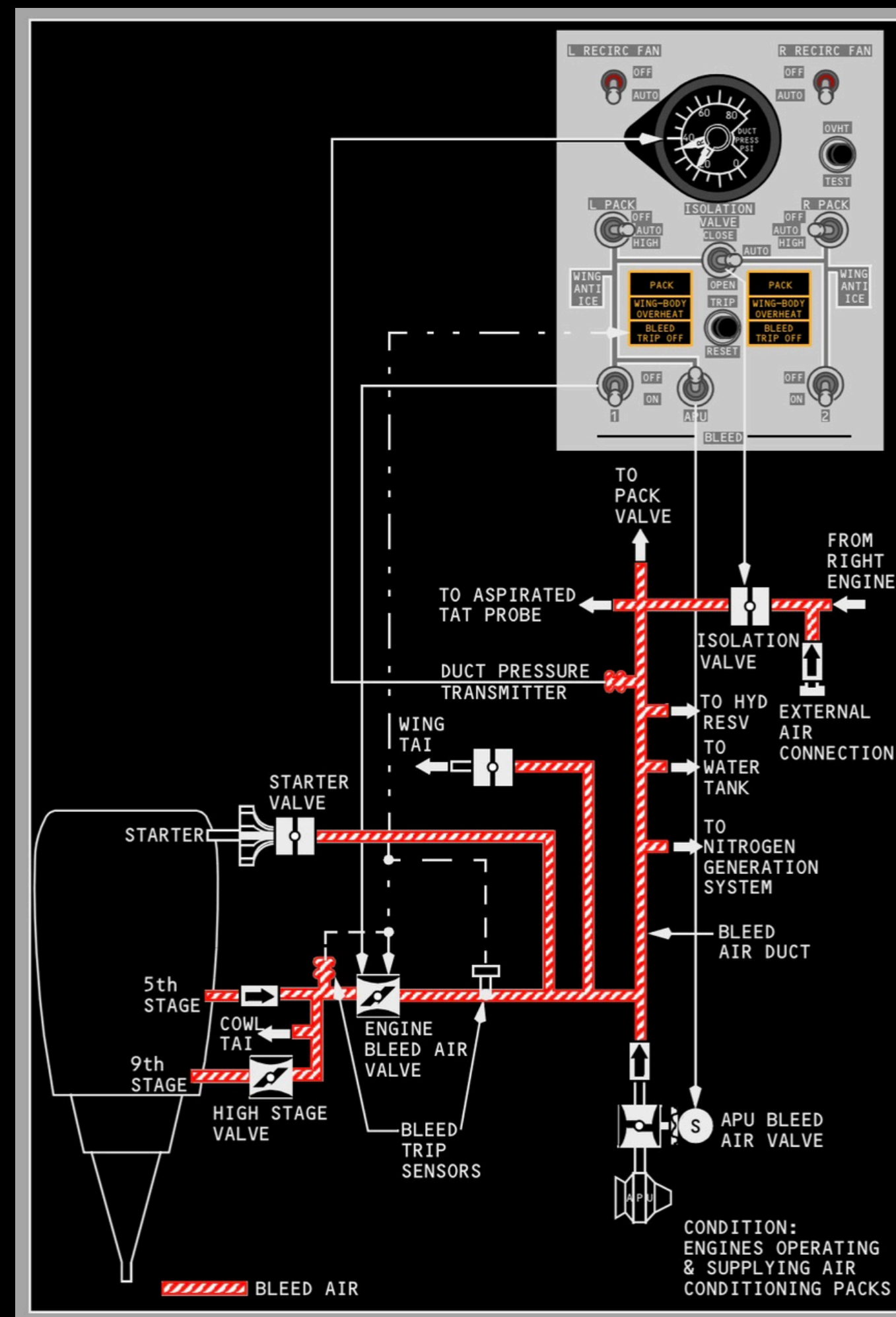
- **Le NEA est acheminé au réservoir central via une vanne haute débit (s'ouvre en descente pour contrer l'air entrant).**
- **Capteur O2 mesure une fois par vol.**
- **Entrée : puit de roue gauche, avec arrêteur de flamme et isolant diélectrique.**

5. Vents et Soupapes:

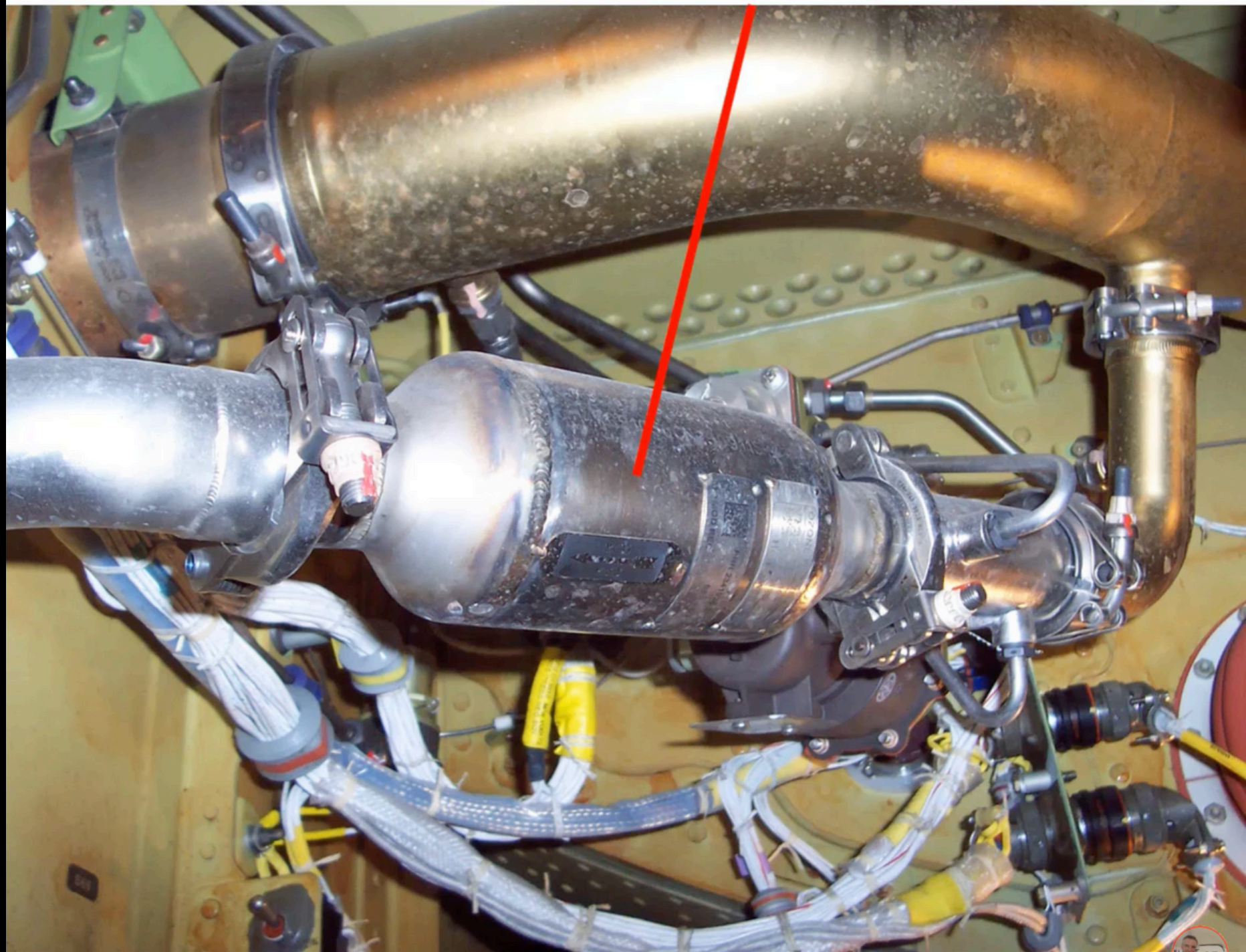
- **Réservoirs ventilés (évite le vide) avec valve anti-retour (empêche la fuite de NEA et de carburant).**
- **Soupape flottante au sommet: ferme si réservoir plein, laisse passer NEA sinon.**

Left ram air
inlet

Left ram air
duct



Ozone
converter



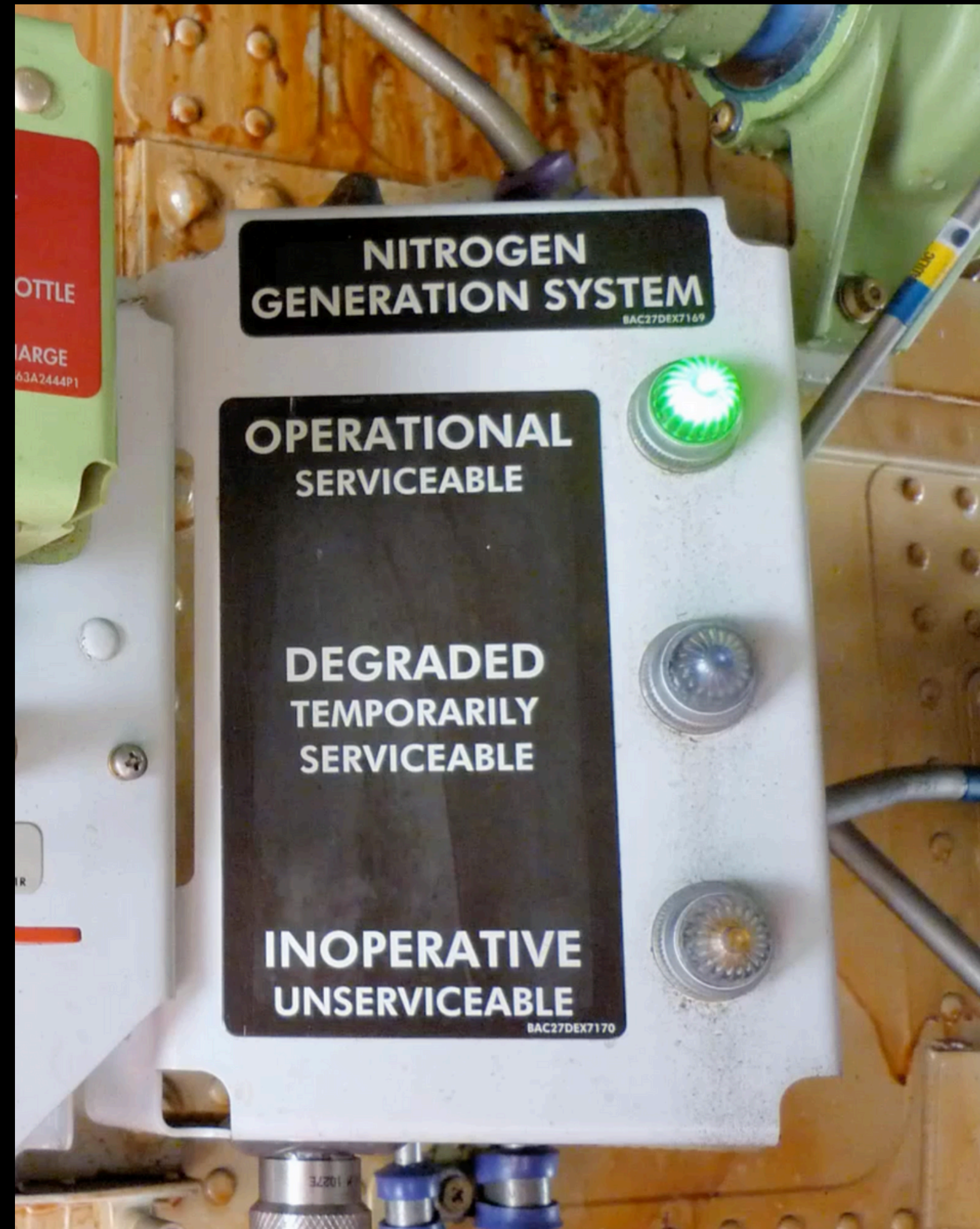
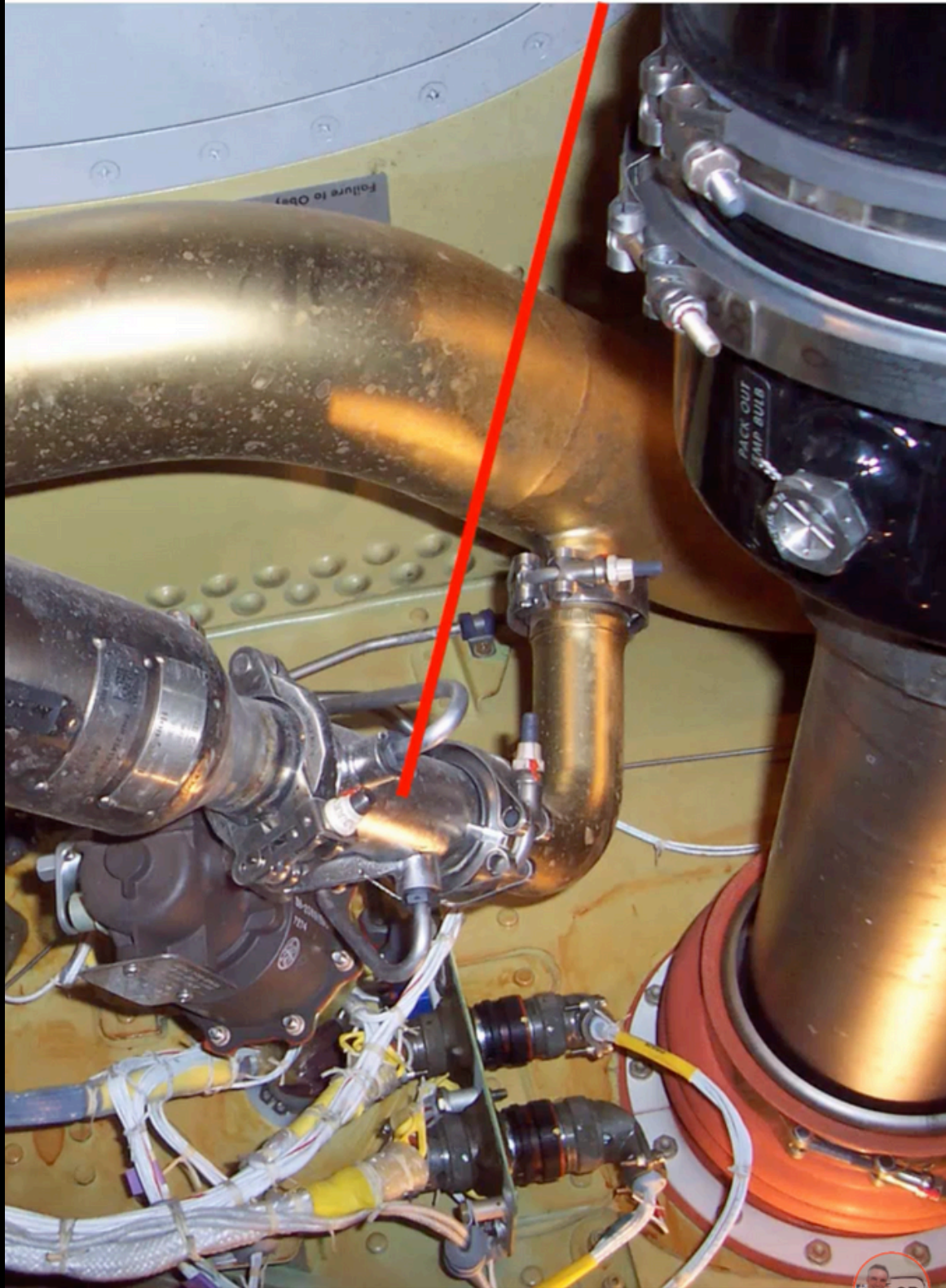
Left bleed
air duct

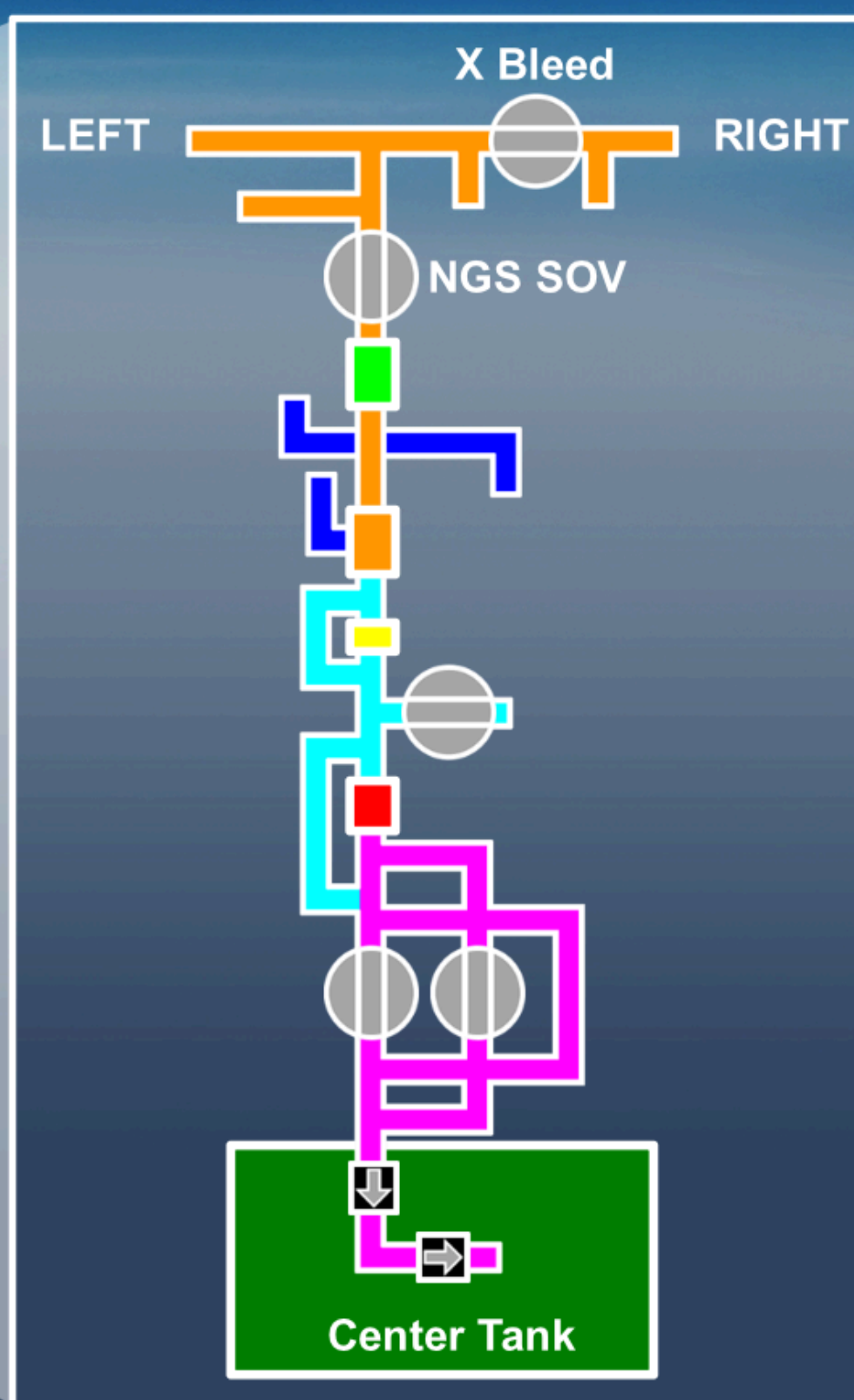
Pressure
regulating
and shutoff
valve

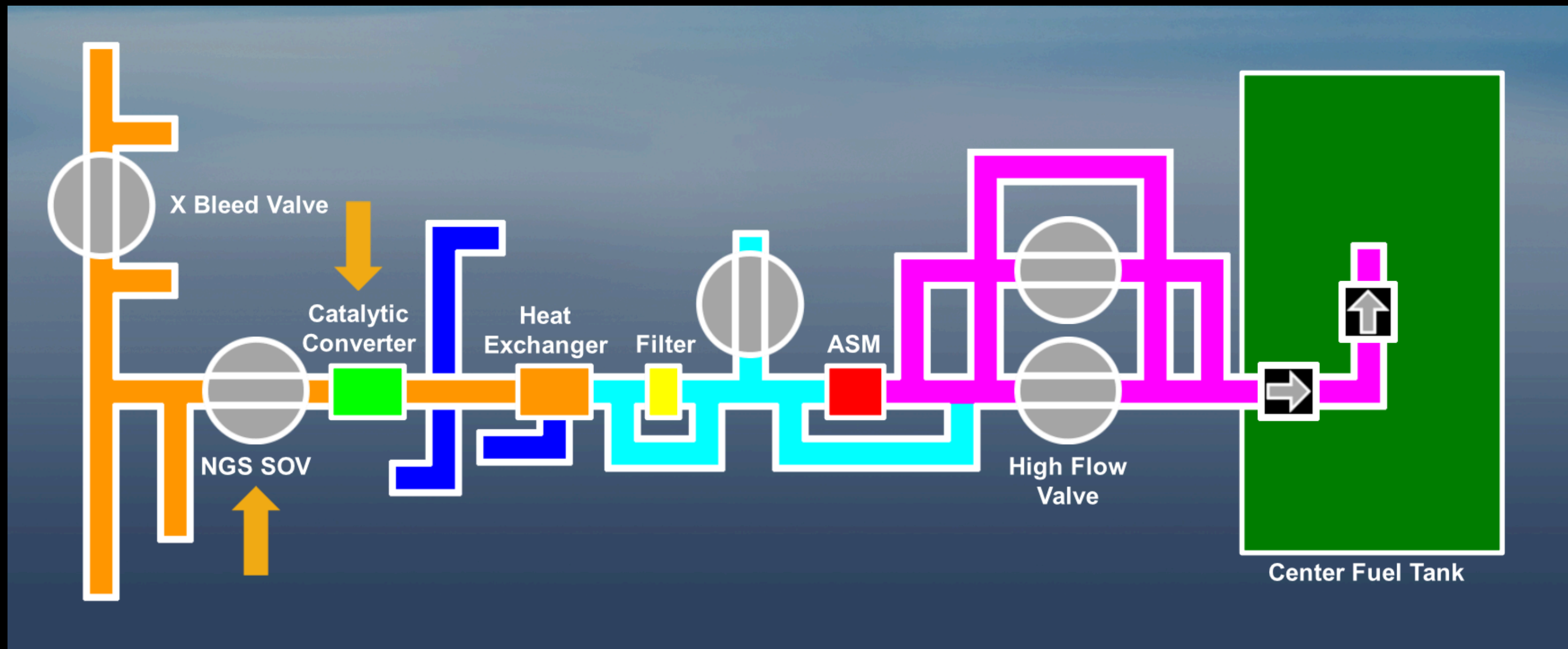
Air for
NGS



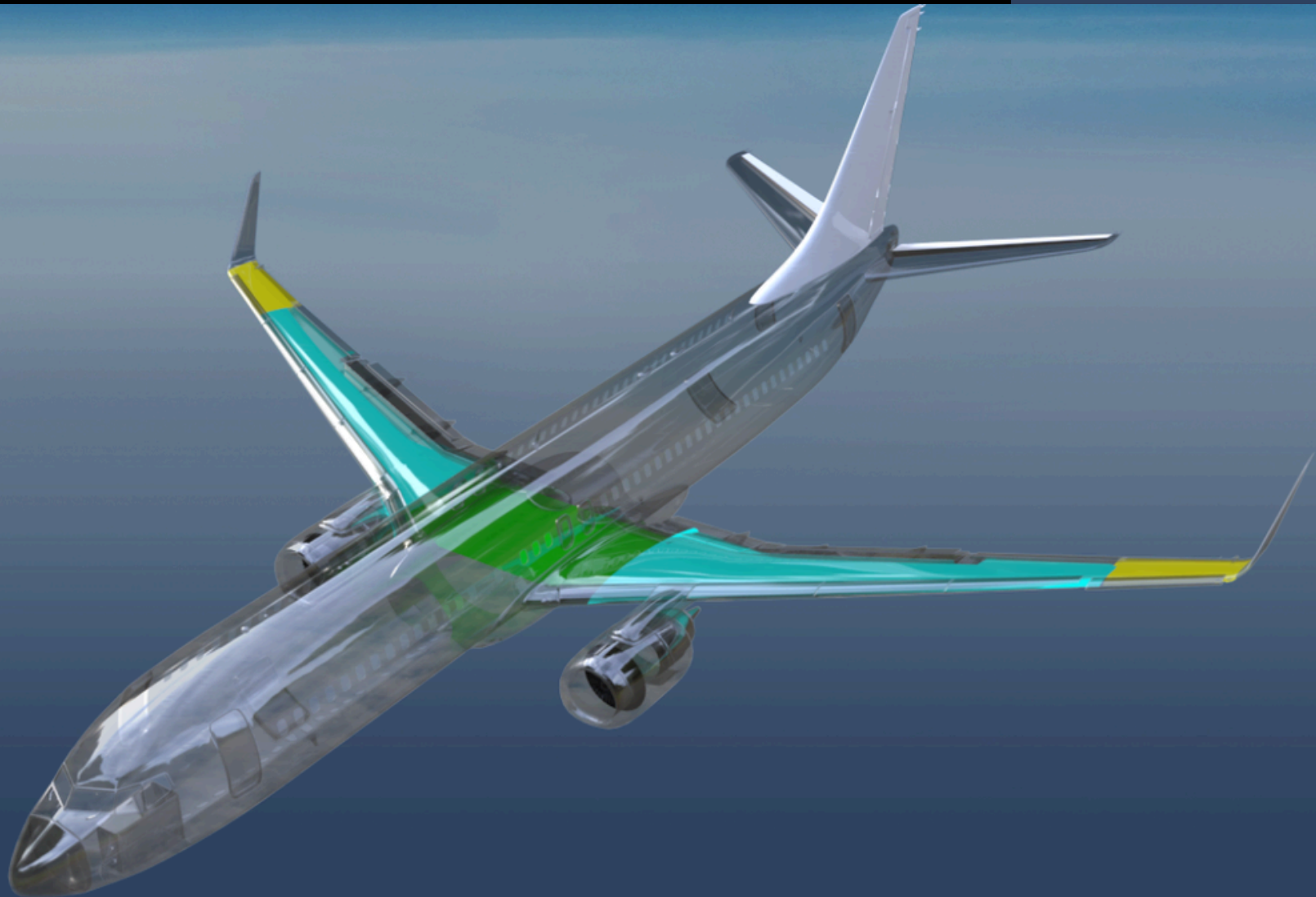
Pressure
regulating
and shutoff
valve





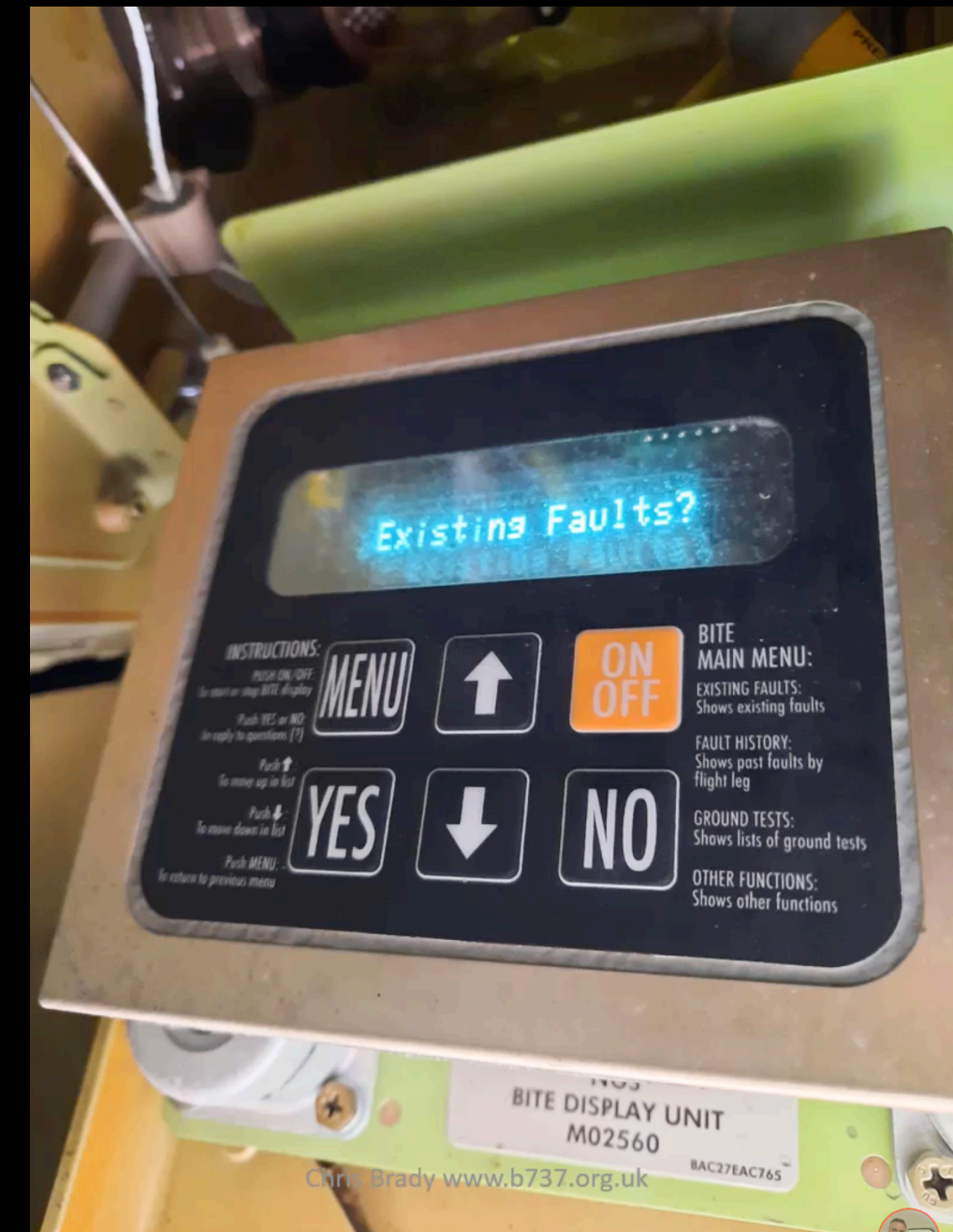
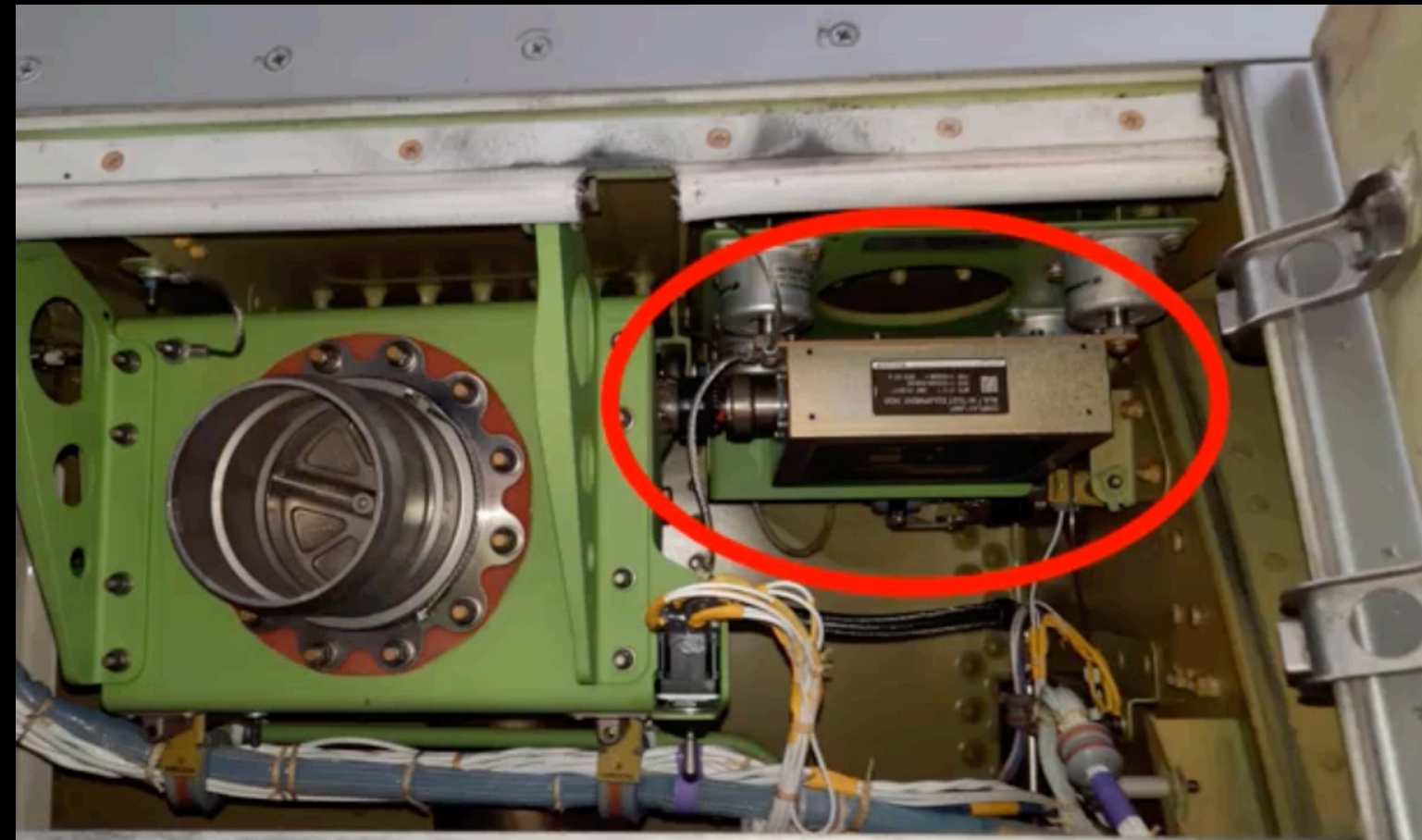


Inner Wall of AFT Wheel Well



4.3. Conditions de Fonctionnement et Contrôle

- Conditions OFF (Arrêt) : automatique si moteur arrêté en vol, feu détecté, pack gauche en surchauffe, ou ravitaillement. Au sol : mode test seulement.
- Contrôle : ordinateur NGS dans la soute avant (alim DC Bus 2).
- Diagnostics : écran **BITE** près du connecteur air start.



4.4. Voyants d'État du NGS (Vert, Bleu, Orange)

- **Vert** « Service »: système fonctionne correctement, pas de maintenance.
- Si non allumé avant vol : contacter la maintenance pour un report.
- **Bleu** « Service temporaire »: système fonctionnel mais à capacité réduite.
- Aucune maintenance immédiate, mais consigner le défaut avant de libérer l'avion.
- **Orange** « INOP » (Hors service): Système hors service.
- Fermer et verrouiller manuellement la vanne d'arrêt du NGS (SOV).
- Consigner le défaut avant de libérer l'avion.
- **Aucun voyant allumé** : indicateur de fonctionnement hors service (NGS potentiellement mal installé ou US).
- Utiliser l'écran BITE pour identifier la cause.



CONCLUSION

Un Héritage de Progrès

- Depuis **SFAR 88** et **FTFR**, aucune explosion de vapeurs n'a été enregistrée en 17 ans, sauvant des milliers de vies.
- Le NGS représente le triomphe de l'ingéniosité humaine face au risque.
- L'aviation tire les leçons du passé pour améliorer continuellement la sécurité.