

Maintenance
Repair
Overhaul

Sémantique : MRO et MCO

- MRO : maintenance, repair and overhaul
- MCO : maintien en condition opérationnel



- MRO = MCO des matériels

Le MRO aéronautique

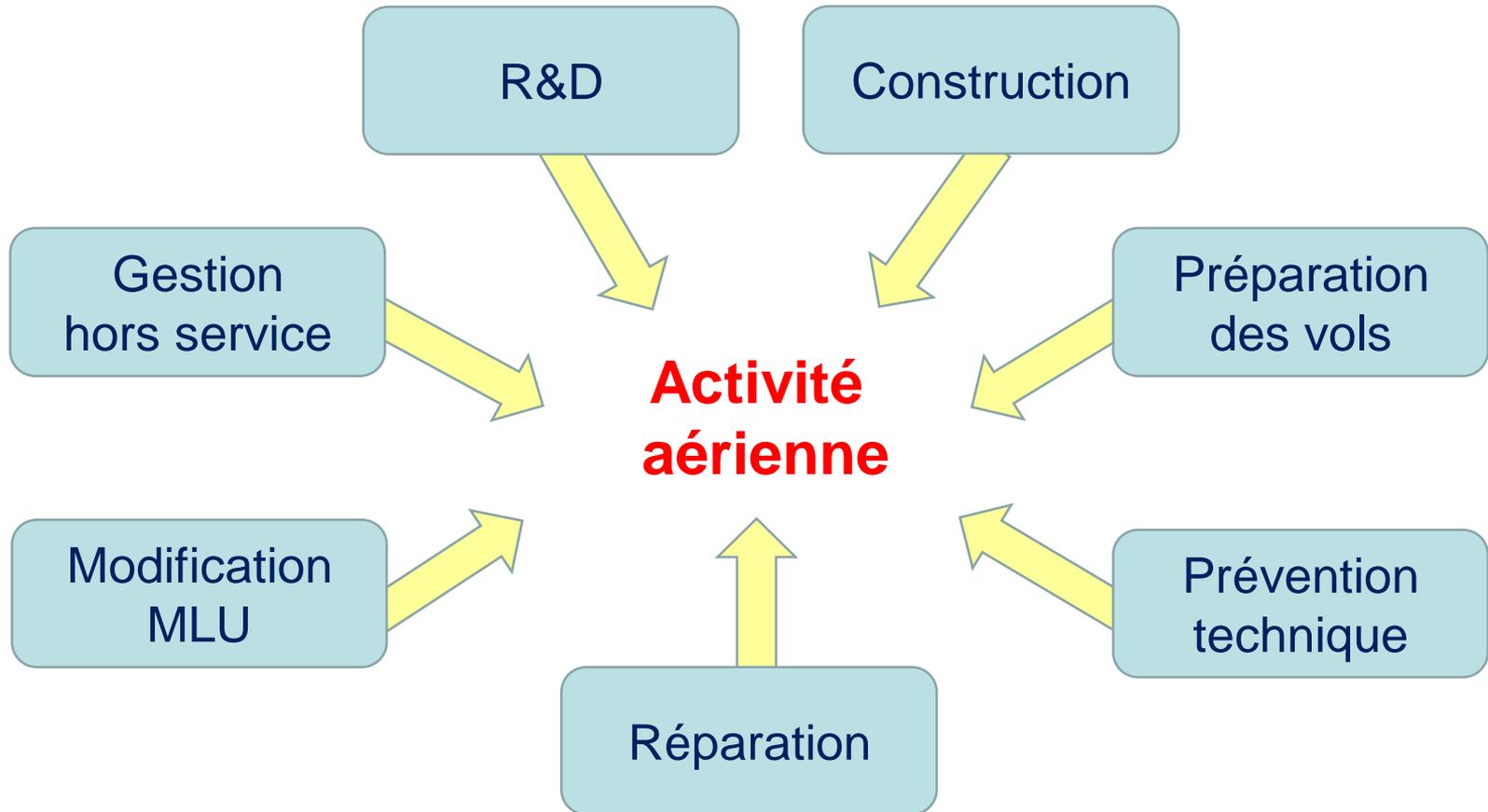
Activités à caractère
opérationnel, technique,
logistique et administrative
qui concourent à l'intégrité,
au bon fonctionnement, à la sécurité
et à la résilience des systèmes aériens

La finalité du MRO n'est pas technique mais opérationnelle



Le but du MRO est de
générer de l'activité aérienne

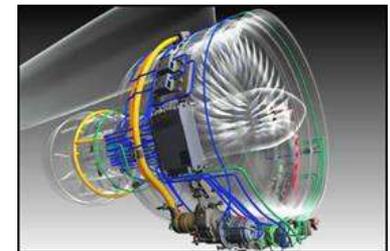
*Le MRO est permanent
dans la vie de l'aéronef*



Le MRO dans la construction

- **Conception de la maintenance (R&D, essais et expérimentations)**

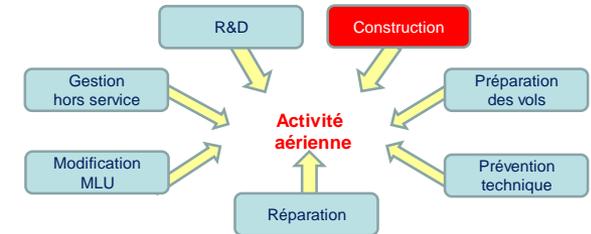
- concept de maintenance
- adaptation des nouvelles technologies
- diminution des temps de maintenance
- accessibilité des équipements
- plan d'entretien
- certificat de navigabilité
- etc.



Le MRO dans la construction

- **Construction**

- Lancement de la Supply Chain
- Elaboration des outillages
- Mise en œuvre des problématiques de maintenance
- Adaptation du MRO



Le MRO dans la préparation des vols

- **Préparation des avions commerciaux, privés ou militaires**
 - mise en œuvre technico-opérationnelle (configuration, visite avant vol)
 - recueil des avions (APV)
 - surveillance technique (démarrage, tests, etc.)
 - interventions techniques d'urgence lors des phases sensibles (démarrage, redémarrage, tests, etc.)



Le MRO dans la prévention des pannes

- **Maintenance « planifiable »**
 - Notions de visites ou de checks
 - Notion de NTI1, NTI2 et NTI3 (civil)
 - Notion de NSO, NSI (militaire)
- **Maintenance préventive**
 - Echanges de pièces, vérif., inspection
 - Logique calendaire/activité (hdv, cycles)
 - Restauration de potentiel
- **Maintenance prédictive (*Big Data*)**



Le MRO et la réparation des avions

- **Résolution de faits techniques**

- Endogènes : pannes, criques, ruptures
- Exogènes : collision au sol, en vol avec des volatiles, grêlage, foudroiement, etc.

- **Concerne**

- L'aéronef (cellule, circuits, *spare parts*, etc.)
- Son système de motorisation
- Ses équipements
- Ses emports



Le MRO et les modifications

- **Changement de configuration**
 - Modification structurelle
 - Modernisation (ex : Mid Life Update)
 - Aménagement spécifique
 - Gestion des obsolescences
- **Approche de type R&D**
 - Etudes, développement
 - Essais
 - Nouvelle certification



Gestion hors activité

- **Retrait temporaire de service**

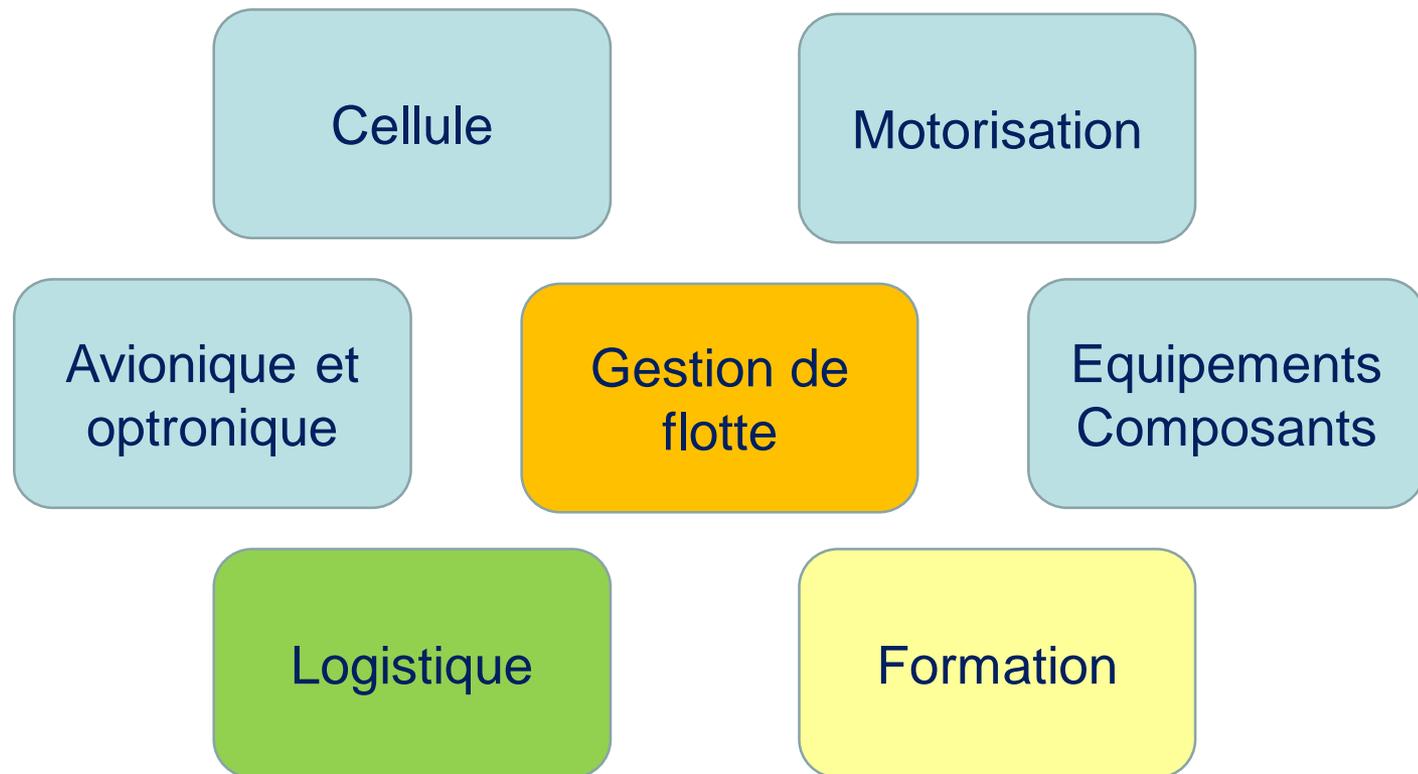
- Stockage
- Entretien
- Remise en œuvre (intégration des modifications)

- **Retrait définitif de service**

- Prélèvements
- Déconstruction
- Démantèlement



Les domaines d'intervention du MRO



Cellule

- **Cellules et sous-ensembles permettant le vol aérodynamique**
 - fuselage et carénages
 - systèmes de pilotage
 - systèmes dynamiques (hélicoptères)
 - circuits électriques et hydrauliques
 - systèmes de sauvegarde des équipages et des passagers
 - systèmes de soute
 - etc.



Motorisation

- **Motorisation - Propulsion**

- Moteurs, réacteurs, APU
- Hélices, rotors
- Calculateurs de régulation moteurs (FADEC*)
- Connectiques avec la cellule
- Accessoires
- etc.



* FADEC : Full Authority Digital Engine Control

Avionique

- **Systemes électroniques**

- Calculateurs
- Visualisation (écrans, HUD, etc.)
- Aide au pilotage (PA, FT, etc.)
- Aide à la navigation (centrales INS, systemes de navigation et d'atterrissage, etc.)
- Radars embarqués (météo, nav., détection)
- Systemes de com. et d'identification
- *Systemes de contre-mesures élec.*



Optronique

- **Systèmes optroniques :**
 - Capteurs (EO, détecteurs IR, FLIR)
 - Dispositifs intégrés (ex : OSF)
 - Dispositifs externes (ex : Pods).



L'optronique est la **combinaison de l'optique et de l'électronique** relevant de la détection, du traitement des images et de leur stabilisation.



Equipements – Composants - OAE

- Sous-ensembles « avionneurs » (systèmes fonctionnels, train, circuits, conditionnement , systèmes de sécurité, etc.)
- Composants « avionneurs » (éléments de sous-ensembles (servocommandes, batteries, pompes, connectique, etc.)
- Modules et composants « motoristes »

*Notions de
LMER,
LME, LTTE*



Les listes d'équipements

(Règlement (UE) n°965/2012)

- **Liste Minimale d'Équipements de Référence (LMER)**
 - *Spécifique à un aéronef, fixe les éléments d'équipement ou fonctions pouvant être provisoirement HS sans remettre en cause le niveau de sécurité prévu par les spécifications liées à la certification de type.*
- **Liste Minimale d'Équipements (LME) ou Master Minimum Equipment List (MMEL)**
 - *Liste établie à partir de la LMER, conformément à laquelle, sous certaines conditions, un aéronef peut être exploité, avec des éléments d'équipement ou des fonctions HS au début du vol.*
- **Liste des Tolérances Techniques et d'Exploitation (LTTE)**
 - *(Cas où il n'existe pas de LMER) Liste, conformément à laquelle, sous certaines conditions, un aéronef peut être exploité, avec des instruments, des éléments d'équipement ou des fonctions HS au début du vol.*

Logistique

- **Supply chain**

- approvisionnement
- parts distribution
- AOG supply



- **Logistique opérationnelle vs Logistique industrielle**
- **Logistique commerciale vs Logistique militaire**
- **Notion de « *Forward logistic* et « *Reverse logistic* »**

Formation

- Formation des techniciens, initiale et continue
- Apprentissage - Parrainage
- Agréments de centre (PART 147)
- Licences des mécaniciens (PART 66)
- Simulateurs de maintenance



Gestion du MRO

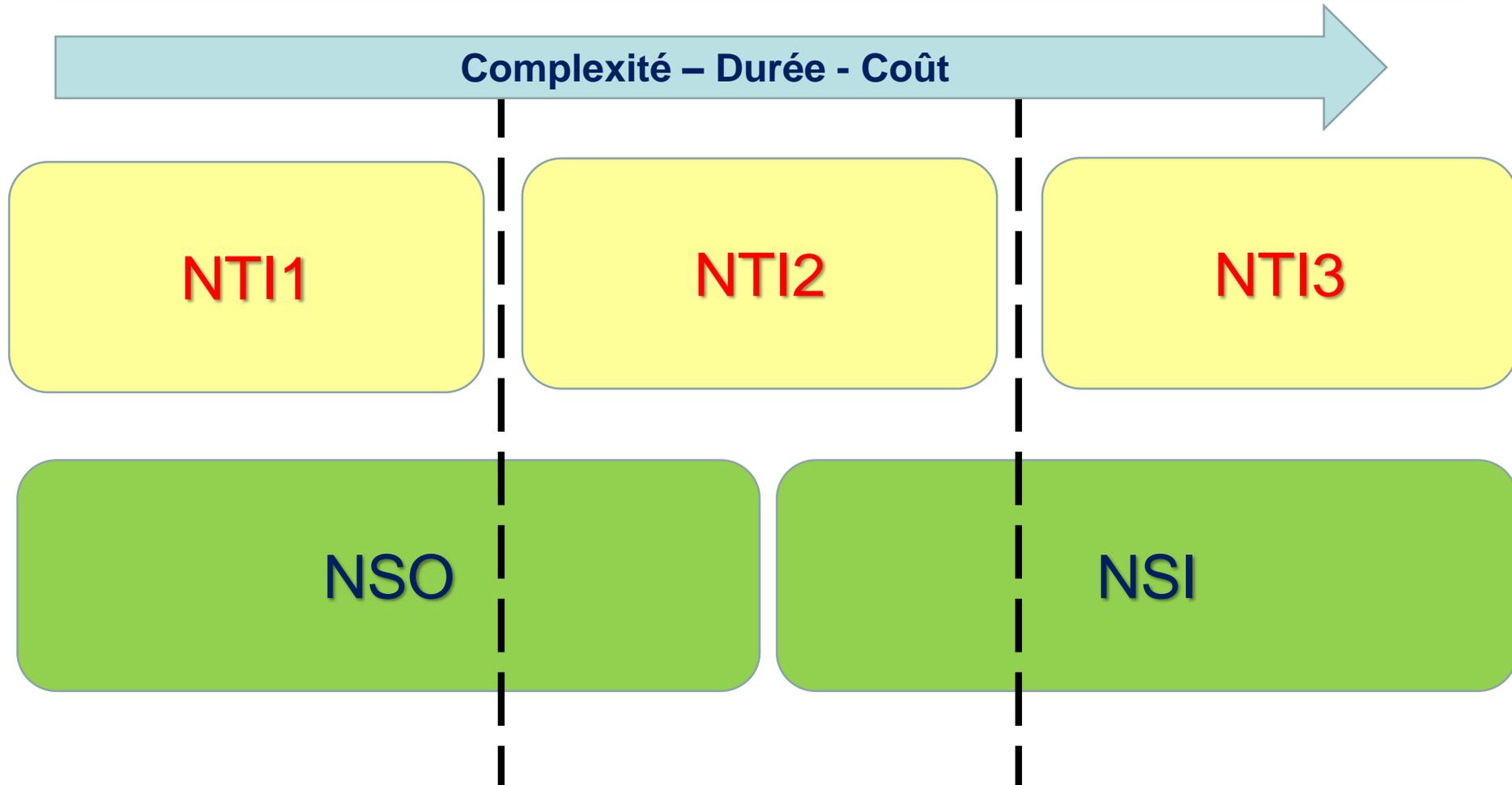
- Management et stratégie du MRO
- Contrôle et surveillance
- Gestion de flottes et maintien de la navigabilité
- Gestion du domaine normatif (navigabilité, qualité, environnement, sécurité du travail, etc.)
- Commerce des services de MRO (ingénierie contractuelle, droit commercial applicable au MRO, marketing, etc.).

GENESIS ELEMENTS ASSOCIES A L'ARONEP P.1810

NO	DESCRIPTION	DEPART	TYPE	STAT	DATE	HEURE	LOCAL	REMARKS	STATUS	DATE	HEURE	LOCAL	REMARKS
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30



Les niveaux d'intervention du MRO



Les niveaux d'intervention

Les activités techniques du MRO se différencient principalement par :

- Leur complexité et le niveau d'expertise technique nécessaire ;
- Leur anticipation ou leur caractère imprévu ;
- La possibilité d'appliquer des solutions existantes ou l'obligation de les concevoir ;
- La lourdeur et la rareté, ou non, des outils industriels nécessaires ;
- Les infrastructures nécessaires pour les réaliser.

Les niveaux d'intervention

De ces caractéristiques, découlent généralement :

- La capacité à les planifier ou non ;
- La durée des interventions et donc celle de mobilisation des aéronefs ou des équipements ;
- La localisation des interventions :
 - en ligne ou dans des ateliers plus ou moins outillés ;
 - à proximité des opérateurs ou dans des centres ;
 - *Sur des théâtres d'opérations.*
- Leur coût.

Le niveau d'intervention 1 (NTI1)

- Diagnostic primaire de panne
- Echange d'URL
- Réparation simple sans restauration de potentiel

- *Pas d'outil complexe*
- *Peur être réalisée sans infrastructure spécifique*
- *Interventions généralement non programmables, sauf PPV (AVV) et APV*



Le niveau d'intervention 2 (NTI2)

- Activités techniques complexes nécessitant un savoir-faire de spécialiste
- Diagnostic de pannes complexes
- Intervention au cœur de l'aéronef
- Démontage- Remontage de sous-ensembles, démodulage de moteurs, etc.)
- Restauration de potentiel technique

- *Interventions partiellement programmables*
- *Moyens sophistiqués (CND, bancs de test, etc.) mais légers et mobiles*
- *Infrastructure couverte.*

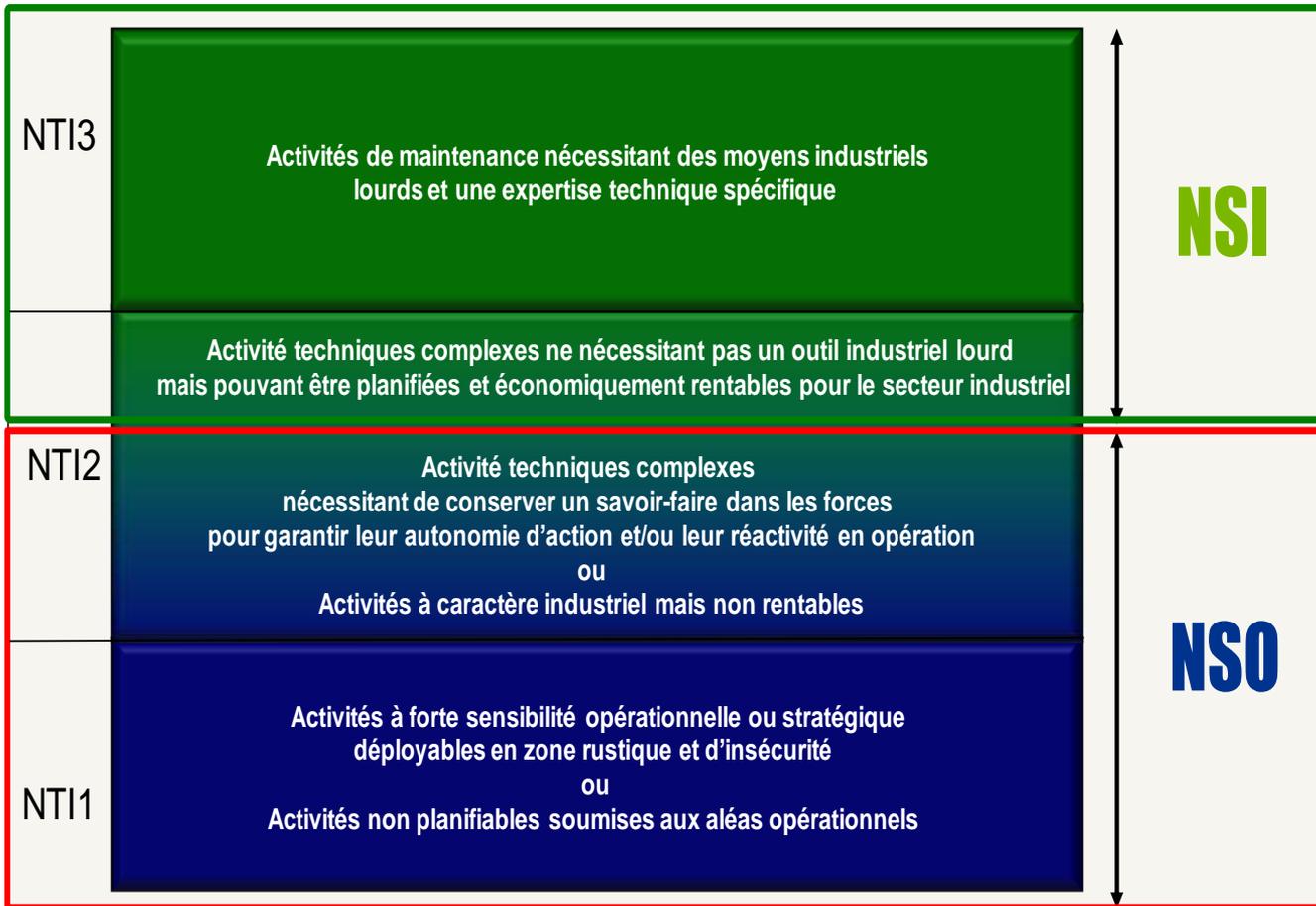


Le niveau d'intervention 3 (NTI3)

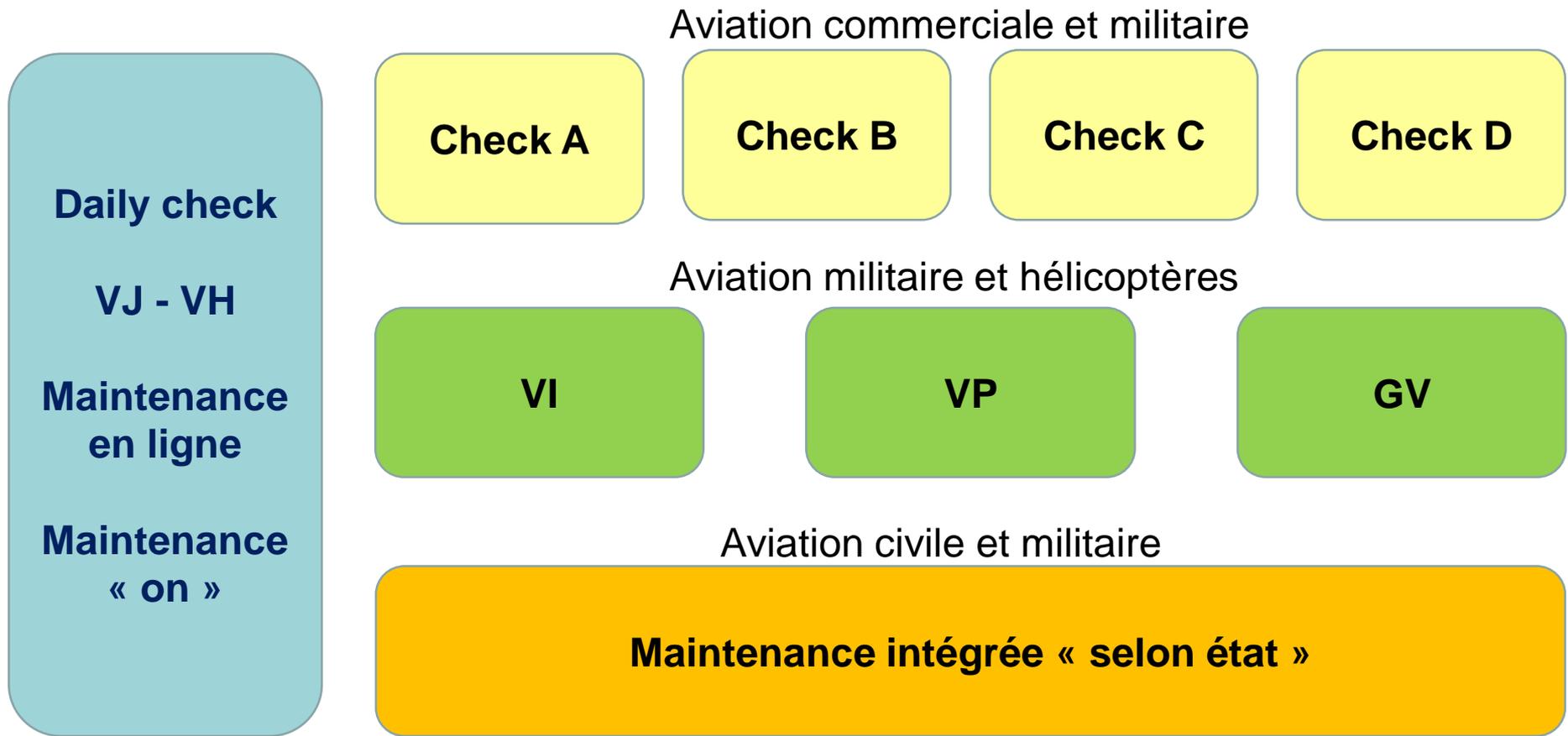
- Visite profonde et restauration significative de potentiel
- Traitement de faits techniques complexes
- Réparations faisant appel à un outil industriel et un haut niveau d'expertise
- Modifications – Aménagement - MLU
- *Interventions programmables et longues*
- *Infrastructure et outillage lourds (machines-outils) ou rares (soudure)*
- *Bureau d'études*



Le NSO – NSI dans les armées



Les opérations de maintenance préventive



Le système des checks

- **Aéronefs de type « commercial » (y compris militaires)**
- **Check A :**
 - visite légère après 500 à 800 heures de fonctionnement ;
 - durée d'immobilisation courte et, pour les compagnies aériennes, elle s'opère durant un arrêt de vol (ex : nuit)
- **Check B :**
 - visite de moyenne intensité tous les 4 à 6 mois ;
 - durée d'immobilisation est de l'ordre de 1 à 3 jours ;
 - on en profite pour effectuer d'autres opérations que la révision technique réglementaire ce qui explique une durée variable.

Le système des checks

- **Check C :**
 - visite réalisée approximativement tous les deux ans ;
 - opération de maintenance lourde qui peut s'accompagner de modifications importantes sur l'aéronef ;
 - immobilisation sur une durée significative (plusieurs semaines).
- **Check D :**
 - visite lourde qui intervient environ tous les 6 ans (entre 15 000 et 30 000 heures de vol selon l'usage de l'appareil)
 - immobilisation de 2 mois ou plus ;
 - aéronef inspecté en profondeur (cadres, peau, longerons, etc.) et fait l'objet d'un « déshabillage » quasi-complet.

Les système des visites

- VJ : visite journalière
- VH: visite hebdomadaire
- VI: visite intermédiaire
- VP : visite périodique
- GV : grande visite

Le systèmes des visites

- Adaptés aux avions aux profils de vol variables et à fort stress (turbulences, vibrations, g, etc.)
- Les VI, VP et GV dépendent des avions
- Réalisées lors d'une butée calendaire ou d'une limite de cycles, qui n'est pas linéaire et dépend de l'utilisation de l'appareil.
- Elles peuvent être renforcées ou regroupées avec d'autres interventions techniques



Le systèmes des visites

- VI entre 100 et 500 heures (6 mois à 1 an selon emploi) :
 - Puma : ≈ 1 ans - ≈ 200 heures
 - Mirage 2000 : ≈ 6 mois à un an ≈ 300 heures ;
- VP après quelques centaines d'heures (2 à 3 ans selon emploi) :
 - Puma : ≈ 3 ans - ≈ 600 heures
 - Mirage 2000 : ≈ 3 ans - ≈ 900 heures
- GV à quelques milliers d'heures :
 - Puma : ≈ 18 ans - ≈ 6000 heures (VP « lourde » à 13 ans)
 - Mirage 2000 : ≈ 9 ans - ≈ 2700 heures

Le MRO et la navigabilité

MRO et navigabilité

- Le domaine de la sécurité aérienne qui s'applique au MRO est celui dit de la navigabilité des aéronefs.
- Règlement européen (CE) No 2042/2003 de la commission du 20 novembre 2003 relatif au « *maintien de la navigabilité des aéronefs et des produits, pièces et équipements aéronautiques, et relatif à l'agrément des organismes et des personnels participant à ces tâches* ».



Droit aérien et navigabilité

Autorité

Fixe les règles et vérifie leur application

Exploitant

Applique les règles

**Aviation
civile**



**Aviation
étatique**



La navigabilité pour le MRO

- **Le « PART/FRA M »** : gestion technique de la flotte
 - Conformité de l'avion à une configuration approuvée et sûre
 - Définition, planification, surveillance des interventions techniques
 - Suivi des référentiels « applicables »
 - Sélection des prestataires
 - Préparation des certificats d'examen de navigabilité.
- **Le « PART/FRA 145 »** : maîtrise d'œuvre du MRO
 - Réalisation des opérations de MRO
 - Mise en œuvre du « référentiel appliqué »
 - Manuel de maintenance
 - Suivi du personnel mécanicien

Les responsabilités dans les organismes de maintenance

DR (Dirigeant Responsable) :

Il engage sa responsabilité sur la navigabilité des aéronefs.

DQ (Directeur Qualité) :

Le DQ assure la surveillance interne et externe de l'organisme. Responsable de la chaîne qualité, il est nommé par le DR.

TD (Titulaire désigné) :

Responsable de la gestion et de la supervision des activités de maintien de la navigabilité. Il s'appuie sur ses subordonnés (RGMN).

RGMN :

Responsable de la Gestion du Maintien de la Navigabilité, il est désigné par le TD pour un ou plusieurs types d'aéronefs exploités.

Manuel des spécifications d'organisme de maintenance

- Dirigeant responsable (DR)
- Politique et procédures de sécurité et de qualité de l'organisme
- Organigramme montrant les chaînes de responsabilités
- Description générale des RH, des titres, noms, tâches et responsabilités des personnes et liste des personnels certifiés
- Description générale des installations
- Description générale du domaine d'application de l'organisme
- Liste des exploitants commerciaux pour lesquels l'organisme fournit un service d'entretien d'aéronef, des sous-traitants, des escales et des organismes contractants

Les autres réglementations de navigabilité

- Les USA ont une réglementation proche de l'Europe et est reconnue pour les aéronefs US volant en Europe (*FAR de la FAA*)
- Des différences existent néanmoins en matière de MRO :
 - **Systeme PMA** : *Part Manufacturer Approval*
 - **DER** : *Designated Engineering Representative*



Le système PMA

- **Les PMA sont de deux types :**
 - pièces de conception identique à celle des pièces d'origine, mais fabriquées par un autre industriel dans le cadre d'un accord de licence avec le détenteur de la certification de type d'origine du produit concerné (aéronef, moteur, hélice),
 - pièces différentes des pièces d'origine mais dont la conception a été approuvée en tant que telle par la FAA.
- **Les pièces PMA peuvent être installées en Europe** si elles ne sont pas dites « critiques » ou si elles reçoivent une autorisation de montage spécifique

Les DER

- Représentant indépendant agréementé de l'Administrator (FAA) autorisés à valider des mesures techniques
- Titulaire d'un diplôme d'ingénieur ou équivalent, qui possède les connaissances techniques et l'expérience, et qui répond aux exigences de qualification de la FAA
- Un DER peut être nommé pour agir en tant que DER de société et/ou DER consultant
- Un DER de société peut approuver ou recommander l'approbation de données techniques au profit de son entreprise.



Les acteurs du MRO

Les acteurs du MRO

- OEMs (cellules, moteurs, équipements)
 - Les compagnies aériennes
 - Les filiales ou JV des OEM ou des compagnies aériennes
 - Les entreprises globales indépendantes
 - *Les « stations services »*
 - *Les entreprises de logistique*
-
- *La Défense, les forces armées et le SIAé*

Les OEM – Original Equipment Manufacturer

- Airbus
- Boeing
- Bombardier
- Dassault Aviation
- Embraer
- GE
- Lockheed Martin
- Pratt et Whitney
- Rolls Royce
- Safran
- Thales
- Etc.

- Latécoère
- Messier
- Rafaut
- Ratier Figeac
- Sagem
- Zodiac

Les compagnies aériennes

En propre

- Air France Industrie
- British Airways – MRO
- American Airlines - MRO

Filiale

- Barfield (AFI)
- Lufthansa Technics
- CRMA (AFI – moteurs)
- Air India Engineering Services

- Spairliners (AFI-LFT)
- AMECO (LFT – Air China)
- SIA Engineering Company and Sagem

JV

Les entreprises MRO globales

Entreprises indépendantes

- Atlantic Air Industries
- Flybe Aviation Services
- Heliunion
- Sabena Technics
- Marshall Aerospace
- Tarmac Aerosave

Filiales ou JV d'OEM

- Dassault Falcon Service (Filiales)
- Vector Aerospace (Airbus)
- CFM Material (JV GE-Safran)
- OGMA (JV Embraer – Etat portugais)
- CFM – Air China

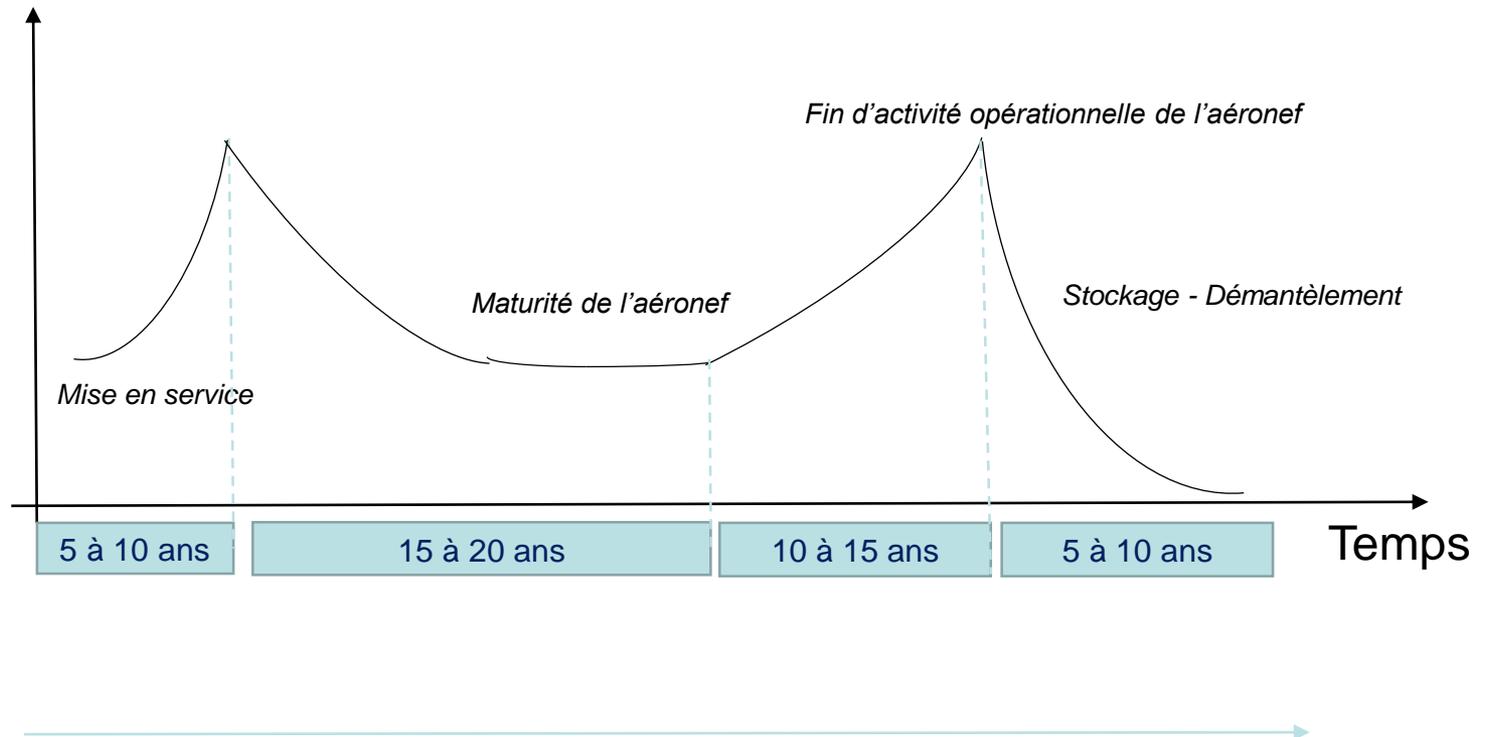
Dimension économique du MRO

Le poids du MRO

- Sur la durée de vie d'un aéronef, on estime que le coût du MRO est équivalent à 2 à 3 fois le prix d'achat
- Dans les coûts d'opérations d'un avion commercial, le MRO compte pour 17% (un peu moins que les charges RH, près de la moitié du kérosène mais 3 fois les taxes)
- Dépenses MRO :
 - 40% (commercial) à près de 50% (certains aéronefs militaires) des coûts de MRO sont consacrés à la motorisation ;
 - 15 à 20% pour les équipements.

Coût du MRO

Coût relatif du MRO
Heure de vol



Des modèles économiques du MRO selon les aéronefs

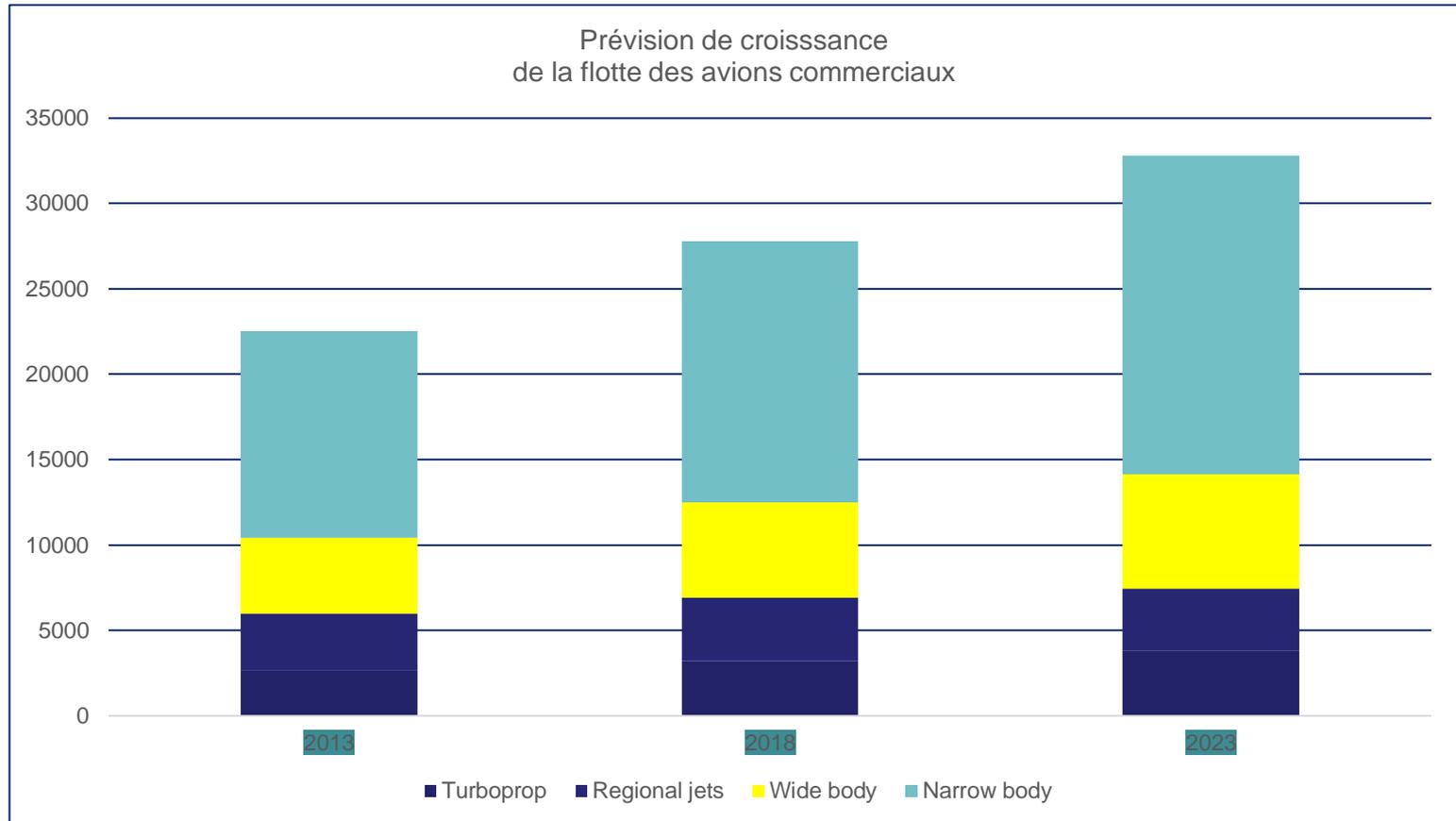
- Modèle MRO avions commercial (*majors, low-cost, leasing, etc.*)
- Modèle MRO hélicoptères (*privés, oil&gas, leasing, etc.*)
- Modèle MRO avion d'affaires (*privés, compagnie taxi, étatique*)
- Modèle MRO aviation légère
- *Modèle MRO aviation militaire*



Tendances de l'ASD

- Doublement du trafic aérien d'ici 20 ans
- Croissance régulière de la flotte commerciale : 22000 en 2013, 33000 en 2025, 40000 aéronefs
- Relative stabilité de la flotte militaire avec des variations fortes selon les régions du Monde (baisse en Occident, hausse en Asie)

Croissance des flottes commerciales

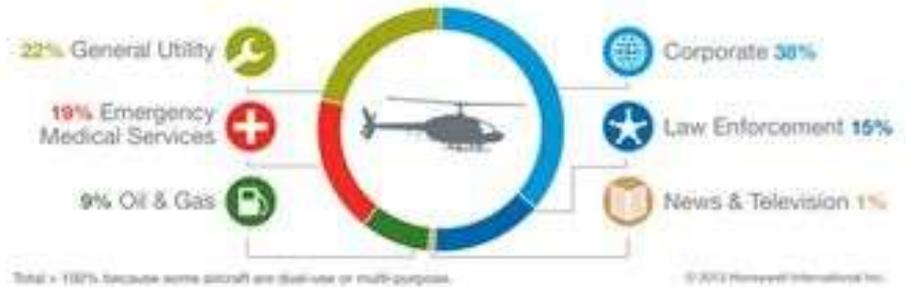


Croissance des ventes hélicoptères

+ 5000 livraisons dans les 5 ans

Planned Usage of New Helicopters

Corporate, Utility, and EMS trending up; Law Enforcement and Oil & Gas usage sustained.

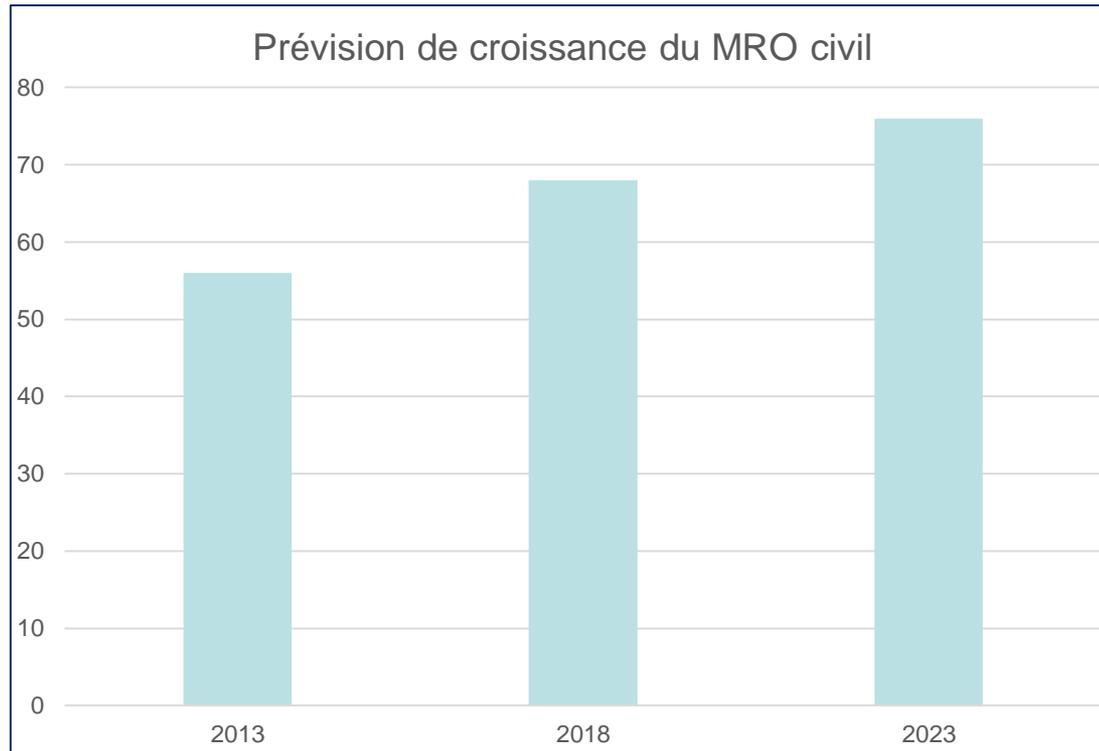


Purchase Plans by Size

Light Single-Engine and Twin-Engine models account for 72% of expected purchases.



Croissance du MRO civil



Milliards
de dollars

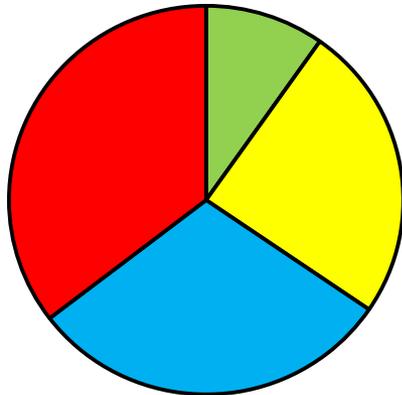
Croissance de 4%
l'an dans le civil

MRO civil 60%
du MRO total

Source AIA

Croissance du MRO selon les régions

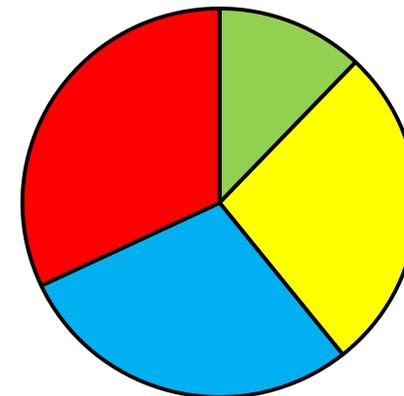
2013



■ Moyen Orient Afrique ■ Asie ■ Europe ■ Amériques

L'Asie tire le marché

2023



■ Moyen Orient Afrique ■ Amériques ■ Europe ■ Asie

Tendances du MRO civil

- Un intérêt grandissant des OEMs pour le MRO qui détiennent environ 40% du marché
- Ré internalisation du MRO dans les airlines
- Consolidation par fusions-acquisitions
- Emergences d'acteurs globaux (intégration verticale)
- Modèles MRO innovants (low-cost)

Tendances du MRO civil

- Emergence d'acteurs MRO dans les zones low-cost (locaux, filiales occidentales, JV)
- Émergence de compagnies de *leasing*, traduisant un intérêt croissant pour les modèles « *asset light* »
- Emergence de hub de maintenance (modèles différents selon avions et hélicoptères)
- Marginalisation des entreprises indépendantes obligées de devenir des « *niche players* » ou des partenaires d'OEM ou de compagnies

Le MRO militaire

MRO militaire

- Des différences importantes selon les pays en termes :
 - De besoin opérationnel et d'effets militaires recherchés ;
 - De caractéristique plus ou moins expéditionnaire ;
 - De BITD (base industrielle technologique de défense) et de relation Etat-Industrie ;
 - D'externalisation.

Un modèle MRO selon les flottes



Des différences selon la sensibilité tactique des flottes, leur niveau technologique, leur concept de maintenance et leur niveau de coopération internationale



L'approche contractuelle dans les armées

NTI1	<p>Forces</p> <p>Aéronefs de combat et déployables</p>			
NTI2			<p>Aéronefs de type commercial ou de formation</p>	
NTI3	<p>DEGRE D'EXTERNALISATION </p>			
Niveau technique d'intervention			Contrat de disponibilité système d'armes complet	Contrat d'externalisation complète
Forme de contrat	Contrat classique	Contrat de disponibilité par sous-système	Contrat de type « à l'heure de vol »	Contrat de type « mission success »

MRO militaire en France

- **Contexte opérationnel spécifique** (*réactivité, dureté, élongation, rusticité*)
- **Flottes nombreuses** (effets militaires) et **dispersés** (*OPEX, prépositionnement, DOM-COM, etc.*)
- **Pilotage selon une logique de milieu** (*CEMAA, SIMMAD*)
- **Rupture technico-logistique** entre MRO amont (*industrie*) et aval (*forces*) (*méthodes, tempo, anticipation*)
- **Un acteur industriel étatique singulier** (*SIAé*)
- **Un management innovant** (*plateaux collaboratifs*)

Tendances du MRO militaire

- **Stagnation du marché MRO :**
 - Tassement du volume d'aéronefs (avions , hélicoptères)
 - Budgets mais aussi effet générationnel
 - Coût horaire du MRO qui croit
- **Intérêt des entreprises pour le MRO militaire**
- **Prédominance américaine des flottes et du MRO**
- **Développement de coopérations (JV) avec les pays clients (compensation des marchés d'exportations)**

Tendances du MRO militaire

- **Augmentation des externalisations** globales (y compris de type *asset light*)
- **Développement des contrats à l'heure de vol** (*Power by the hour*), ou de type « *mission success* »
- **Développement de la coopération européenne** sur le MRO des avions communs (?) vs protection de la BITD (dimension politique du MRO)

Questions ?