



2ème Colloque National de la Performance Industrielle

LA MAINTENANCE A DISTANCE & E-MAINTENANCE

Intégration des paramètres de
maintenance dans la conception du
Health Monitoring

Saintis Laurent – Laboratoire
LASQUO (futur LARIS)



Intégration des paramètres de maintenance dans la conception du Health monitoring



- Prognostics/ Health Monitoring

- Aide à la décision pour le Health monitoring lors de la conception d'un système avionique
 - Performances attendues ?
 - Application à l'étude de la disponibilité d'un système avionique

- **Maintenance prévisionnelle (ISO13306)** : Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation d'un bien
- **Pronostics** => Remaining Useful Life (RUL) : Temps restant avant l'apparition d'une défaillance

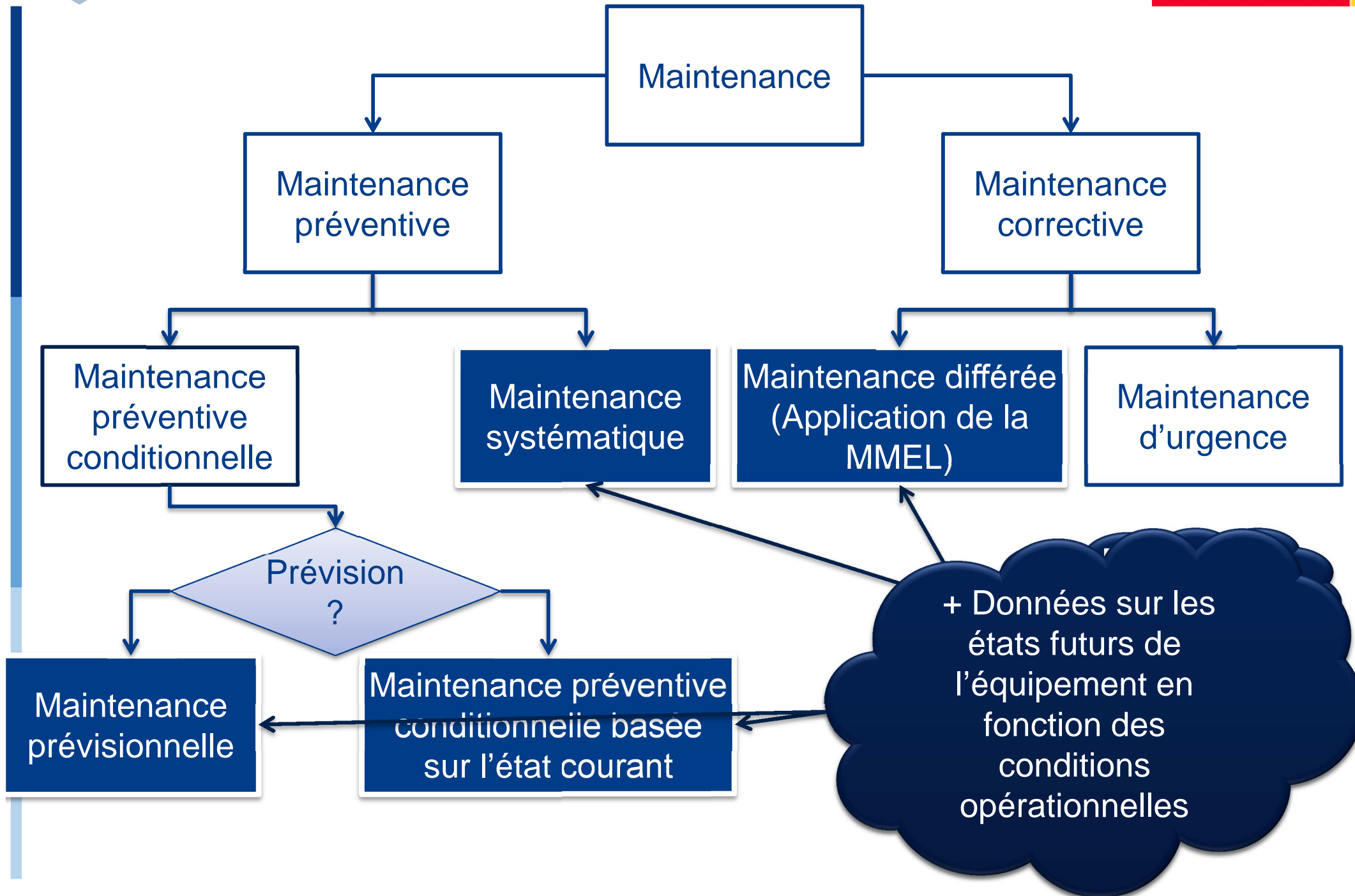
X : Niveau de dégradation mesuré

Moyenne

$$MRUL(X) = \int_0^{\infty} R(u/X) du$$

Quantile pour un risque donné α $Pr(T > T_{\alpha}/X) = \alpha$

Densité de probabilité associée au RUL $f_{T/X}(t)$



- Maintenance prédictive : A quel moment doit-on effectuer une opération de maintenance?

- Sur quels critères ?
 - L'indisponibilité
 - ◆ Interruption opérationnelle (OI)
 - ◆ Réduction du temps de maintenance

 - Le coût global de maintenance
 - ◆ Réduction du coût direct de maintenance
 - ◆ Optimisation du programme de maintenance

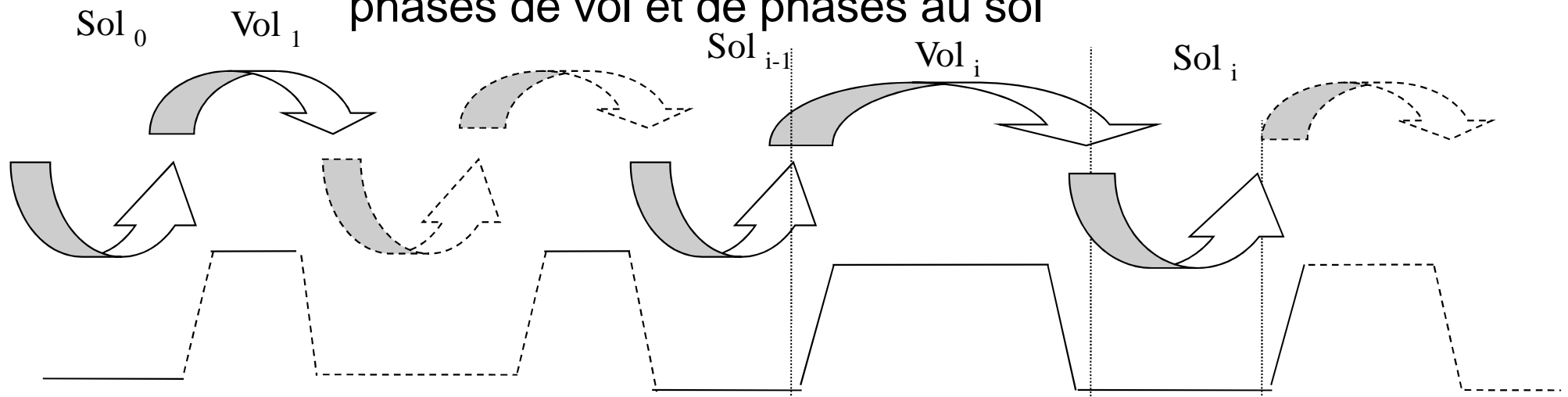


Application à l'étude de la disponibilité d'un système avionique



- Conditions opérationnelles
- Processus d'application de la maintenance en ligne
- Présentation de la MMEL
- Modélisation des conditions NOGO

Mission := Séquence de cycles de vol avec alternance de phases de vol et de phases au sol



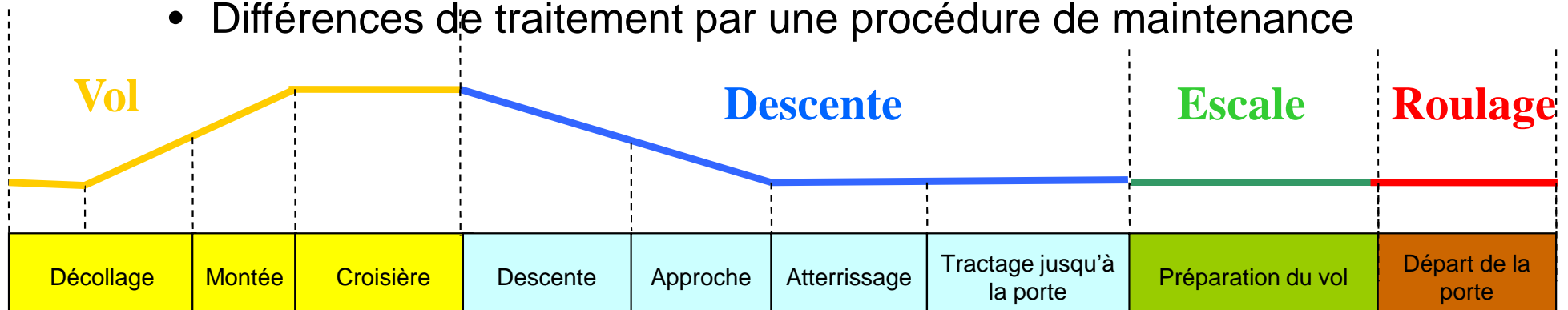
Impossibilité de prévoir l'ensemble des exploitations commerciales

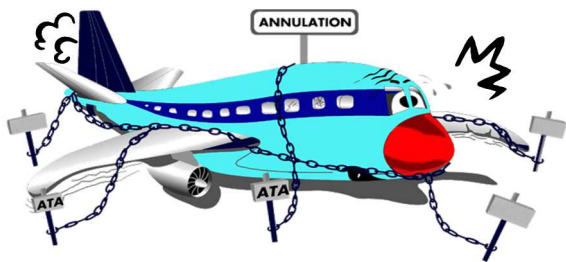
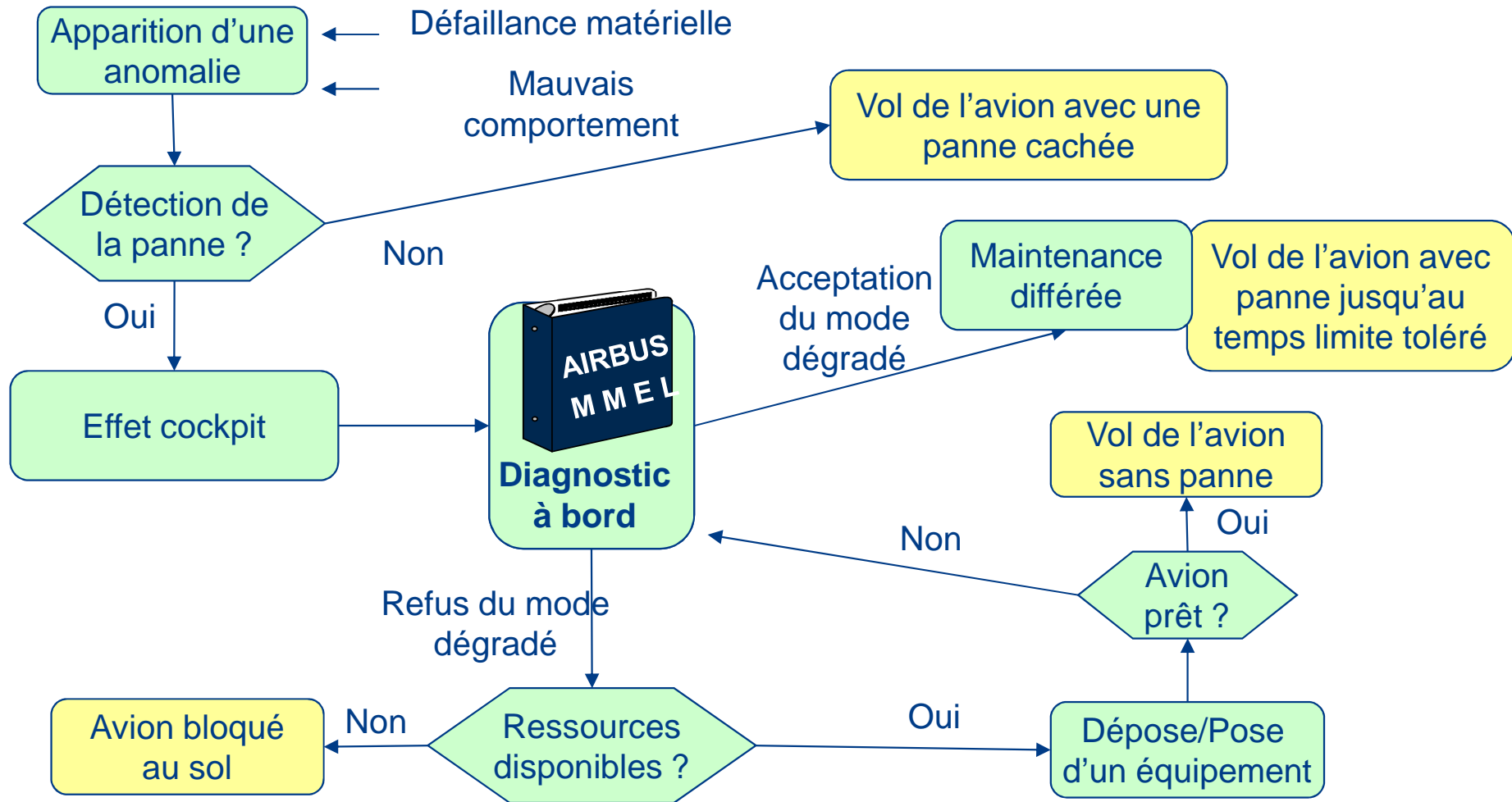


Nécessité d'élaborer des missions types

Synthèse des phases d'un cycle de vol suivant :

- Possibilité d'occurrence d'un effet cockpit
- Différences de traitement par une procédure de maintenance





MMEL := Liste des équipements minimums pour assurer la sécurité du vol

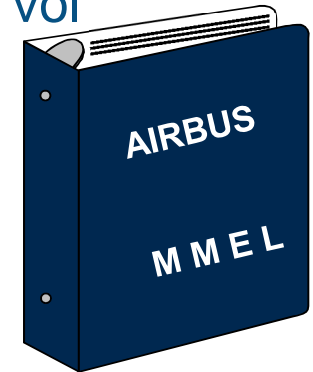
- Listes des alarmes par système
- Équipements pouvant être non opérationnels

=> Décollage avec des équipements en panne

Effet cockpit



Lecture de la MMEL au sol



1. SYSTEM AND SEQUENCE NUMBERS	2. RECTIFICATION INTERVAL			3. NUMBER INSTALLED	4. NUMBER REQUIRED FOR DISPATCH	5. REMARKS OR EXCEPTIONS
ITEM						
31-60 ELECTRONIC INSTRUMENT SYSTEM (EIS)						
63-01 Display Unit (DU)	C	6	5	*(o)		a) One of the following display units may be inoperative : PFD2, ND2, SD. - or - b) Except for ER operations ND1 unit may be inoperative.
	C	6	5	*(o)		

Paramètres de la MMEL

Conditions pour le départ

Condition de NOGO pour un vol particulier

Temps d'exposition

(o) Indique une procédure opérationnelle associée

Cas de la maintenance en ligne (sur site) :

- Maintenance préventive suivant un intervalle
- Maintenance différée (Temps d'exposition de la panne MMEL)

- **Maintenance corrective d'urgence**



Effet cockpit

Conditions NOGO : Contraintes entraînant la perte des conditions requises pour le vol en cours ou pour le décollage du vol suivant

Panne ou combinaison de pannes :

Effet sur la sécurité (MMEL)

Effet opérationnel : - Dégradation des performances
- Contraintes opérationnelles

Effet sur les opérations de l'avion

Effet commercial : Perte du confort passagers

Sévérité :

- Interruption du vol
- Interruption au sol



Obligation de restaurer la fonction

Si GO

Capitaine ?



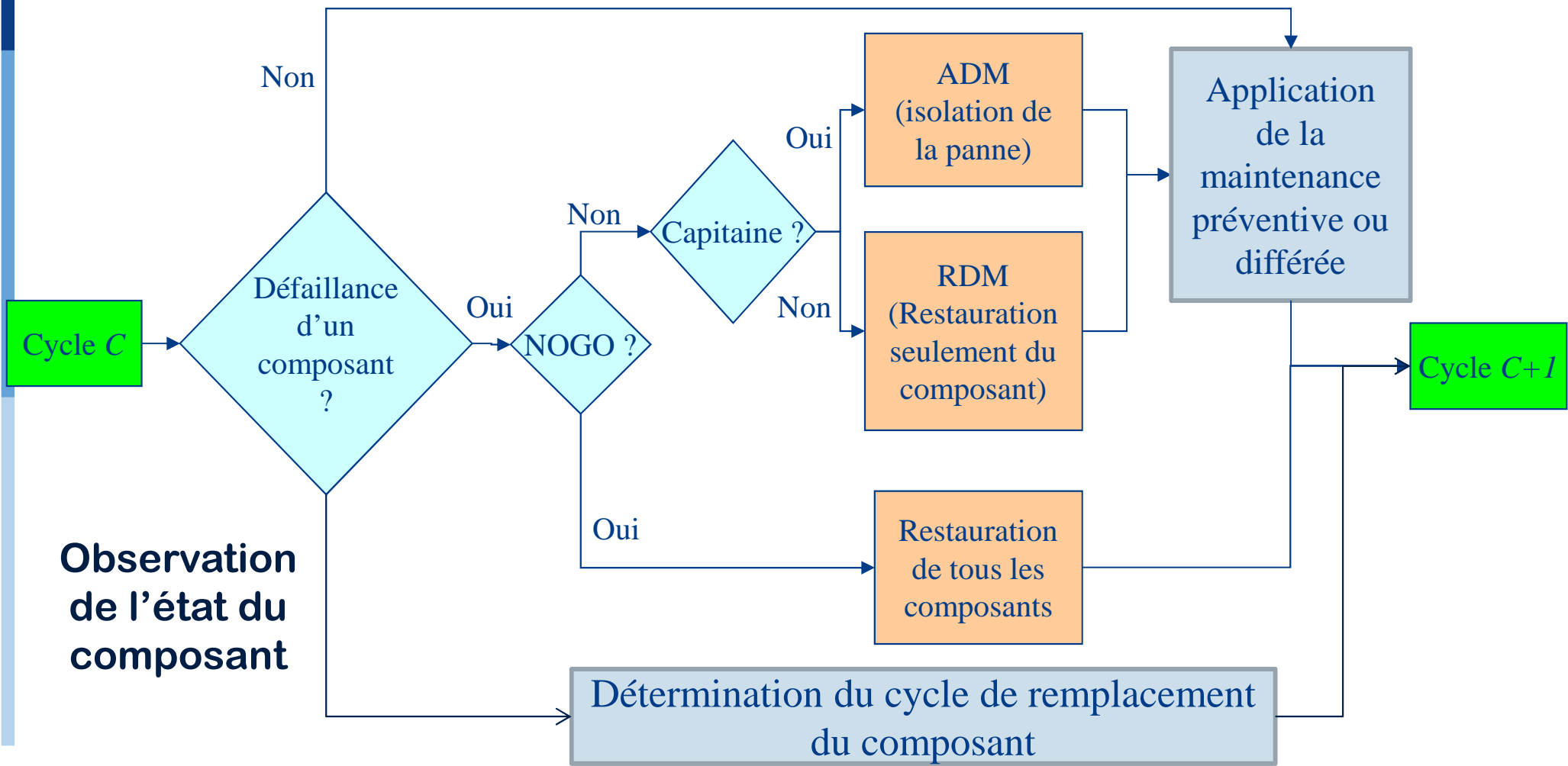
Acceptation du mode dégradé (ADM) :
Isolation de la panne

Refus du mode dégradé (RDM) :
Restauration

Maintenance préventive := à la fin de l'intervalle prévu, sans retard

Maintenance différée := Si le composant est en panne depuis son temps d'exposition, sans retard

Scénarii de maintenance en ligne

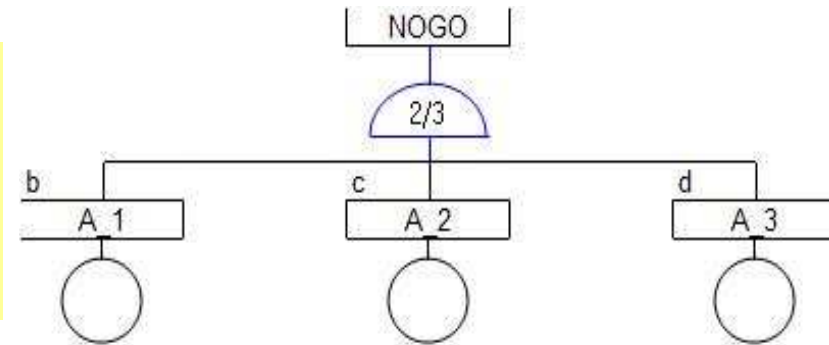
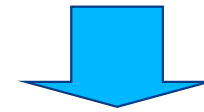


Observation de l'état du composant

Choix de l'arbre de défaillance (AdD)

- Représentation bien connue des utilisateurs
- Déductions simples à partir des données de MMEL (Nb installé, Nb requis...)

1. SYSTEM AND SEQUENCE NUMBERS	2. RECTIFICATION INTERVAL		3. NUMBER INSTALLED	4. NUMBER REQUIRED FOR DISPATCH	5. REMARKS OR EXCEPTIONS
ITEM					
62-01 Display Management Computer (DMC)					
A) EFIS Part					
C	3	2			One may be inoperative on



Hypothèse :

Indépendance des probabilités de défaillance des composants au cours d'un cycle vis-à-vis de l'état du système

Fiabilité d'un composant

- Données de temps moyen entre les déposes (MTBUR) en heures de vol
- Ratio Heures de vol/ Heures opérationnelles (FH/OH)

- Préalablement vieillis
- Très fiables
- Une seule donnée de fiabilité (MTBUR)

$$P(\text{défaillance}) = 1 - e^{-\frac{\text{durée du cycle}}{\text{MTBUR} \times \frac{\text{OH}}{\text{FH}}}}$$

Résolution – Schéma itératif



Evaluation des probabilités d'état des composants au cycle C

Probabilité de
défaillance de x au
cycle C

Probabilité conditionnelle
OI/procédure de
maintenance

Evaluation de

$$P\left(NG_C \cap \begin{pmatrix} x \text{ en} \\ panne \end{pmatrix}\right)$$

Evaluation de

$$P\left(NG_C \mid \begin{matrix} \text{défaillance} \\ \text{de } x \end{matrix}\right)$$

NOGO



OI avec NOGO



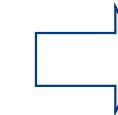
ADM



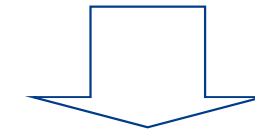
OI avec refus du mode
dégradé



RDM



OI avec acceptation du
mode dégradé



Evaluation des probabilités d'état
des composants au cycle C+1

Probabilités d'OI

OI : *Interruption opérationnelle*

- X_c l'état de la dégradation observée au cycle C
- T_c : Intervalle de maintenance préventive sachant X_c

Optimum :
$$\min_T \left(\sum_{k=c}^n P(OI_k/T, X_c) \right)$$

⇒ évaluation des probabilités de NOGO à chacun des cycles suivant

Evaluation des probabilités d'état des composants au cycle k

Probabilité de défaillance de x au cycle k

Probabilité conditionnelle OI/procédure de maintenance

Evaluation de $P\left(NG_k \cap \left(x \text{ en panne} / T_c\right)\right)$

Evaluation de

$P\left(NG_k \mid \text{défaillance de } x, T_c\right)$

NOGO \Rightarrow

OI avec NOGO

+

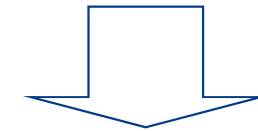
ADM \Rightarrow

OI avec refus du mode dégradé

+

RDM \Rightarrow

OI avec acceptation du mode dégradé



Probabilités d'OI

Evaluation des probabilités d'état des composants au cycle k+1

OI : *Interruption opérationnelle*

- Evaluation préliminaire en phase de conception du système :
 - Comparaison d'architecture pour la mise en place du Health monitoring

- Nécessité d'un système en ligne de prédiction et d'optimisation de la maintenance en fonction des conditions opérationnelles futures

1. L. Saintis, « Method for Predicting the Operational Reliability of an Aircraft System », 24-juill-2008.
2. L. Saintis, E. Hugues, C. Bes, et M. Mongeau, « COMPUTING IN-SERVICE AIRCRAFT RELIABILITY », *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, vol. 16, n° 02, p. 91, 2009.
3. E. Hugues, L. Saintis, et A. Cabarbaye, « ORA, model & tool for Operational Reliability Prediction within Airbus ORA, l'outil Airbus de prédiction de la Fiabilité Opérationnelle », in *14th Lambda-Mu conference*, Bourges, France, 2004, p. 448-451.
4. L. Saintis, « Modèle d'estimation de la disponibilité d'un avion en phase de conception », Université de Toulouse, Université Toulouse III - Paul Sabatier, Toulouse, 2008.
5. E. Deloux, « Politiques de maintenance conditionnelle pour un système à dégradation continue soumis à un environnement stressant », THESE, Université de Nantes, 2008.
6. Jayant Sen Gupta, Christian Trinquier, Ariane Lorton, and Vincent Feuillard, « Characterization of prognosis methods: an industrial approach », présenté à First European Conference of the Prognostics and Health Management Society 2012, 2012, vol. 3, p. 9.
7. ISO 13306 (2010) Terminologie de la maintenance