



TP N° 72

Maintien en Condition Opérationnelle (MCO)

Ce TP est une application de l'outil Gencab¹ d'optimisation hybride dont les principaux algorithmes sont décrits en annexe de l'ouvrage « Sûreté de Fonctionnement & optimisation des systèmes² » de la collection « La fiabilité en pratique ». Le TP complet au format Word avec les fichiers Excel incrustés est disponible sur le site : cabinnovation.com/shop.

L'objet de ce TP est d'expliquer la problématique du MCO, en prenant l'exemple d'une flotte d'avions, et de montrer l'apport d'un outil d'optimisation pour planifier les actions de maintenance et améliorer la disponibilité des produits.

1 – Décrire la problématique de MCO d'une flotte d'avions à partir des données suivantes

Nombre avions :	100	
Heures de vol :	300	heures/an
Potentiel avion :	1500	heures max
Délai entre maintenances :	6	ans max
Durée maintenance :	6	mois
Avions en maintenance :	10	max

2 – Optimiser la planification de la maintenance selon divers critères

¹ Présentation de Gencab disponible via le lien <http://cabinnovation.com/content/gencab>

² Voir <http://cabinnovation.com/content/surete-de-fonctionnement-et-optimisation-des-systemes>

I – Problématique de MCO d'une flotte d'avions

Le Maintien en Condition Opérationnelle est l'ensemble des mesures prises pour assurer un niveau de disponibilité opérationnelle d'équipements. Il porte sur la planification des actions de maintenance et le dimensionnement des moyens mis en œuvre.

Dans le cas d'un avion, cette disponibilité résulte d'événements aléatoires (pannes) mais aussi de la planification des actions de maintenance imposées (grandes visites) qui est contrainte par :

- les moyens mis en œuvre (nombre maximal de places en maintenance),
- le potentiel avion (délai et nombre d'heures de vol maximum entre deux maintenances).

La disponibilité maximale (hors pannes) d'un avion est égale à :

$$D = \text{Délai entre maintenances} / (\text{Délai entre maintenances} + \text{Durée de maintenance})$$

Soit 92,31% dans cet exemple.

Le nombre minimal de places en maintenance est égale à :

$$N = \text{Nombre d'avions} \times \text{Durée de maintenance} / \text{Délai entre maintenances}$$

Soit 8,33 (ou 9) dans cet exemple.

Ce nombre minimal impose des dates fixes de début de maintenance (tous les 6 mois) et une consommation uniforme du potentiel de chacun des avions.

Si le potentiel de chacun des avions n'est pas consommé uniformément, la planification de la maintenance peut être réalisée en utilisant un outil d'optimisation comme indiqué ci-après.

MCO d'une flotte d'avions							
n° avion	Potentiel à T0		Maintenance		Contrainte	Heures non utilisées	Heures non disponibles
	Heures de vol	Nb jours avant maintenance	Début (jr)	Fin (jr)	Places disponibles		
1	463	646	1751	1931	-4	0	976
2	1235	1766	1585	1765	-1	0	67
3	756	1026	1980	2160	0	0	871
4	437	595	107	287	4	349	0
5	1362	1946	313	493	4	1105	0
6	372	538	363	543	5	74	0
7	1500	2145	828	1008	7	819	0
8	1436	2050	106	286	5	1349	0
9	547	750	908	1088	4	0	200
89	85	121	647	827	1	0	447
90	23	33	91	271	6	0	52
91	691	927	1389	1569	6	0	450
92	1500	2159	1017	1197	1	664	0
93	1089	1519	503	683	-3	675	0
94	1288	1743	1542	1722	1	21	0
95	1500	2066	456	636	0	1125	0
96	703	972	1073	1253	0	0	179
97	946	1284	228	408	2	758	0
98	809	1170	1977	2157	1	0	815
99	397	555	1622	1802	-3	0	936
100	1371	1967	267	447	1	1151	0

Nombre avions :	100	
Heures de vol :	300	heures/an
Potentiel avion :	1500	heures max
Délai entre maintenances :	6	ans max
Durée maintenance :	6	mois
Places en maintenance :	10	max

Simulation :	580	833	-87	31,87%	42,60%
Disponibilité moyenne :			52,99%		



Feuille de calcul
Microsoft Excel

A partir des données relatives au potentiel de chaque avion à T_0 (ici aléatoirement simulées), les dates de début de maintenance sont déterminées en maximisant la disponibilité de la flotte tout en respectant la contrainte forte du nombre maximal de places en maintenance.

Si un avion n'a plus de potentiel à cet instant, en termes de nombre d'heures de vol ou de délai maximal entre maintenances, il est indisponible et la disponibilité de la flotte est affectée.

S'il a encore du potentiel en heures de vol, celles-ci sont perdues, ce qui renchérit son coût de possession.

2 – Optimisation de la planification de la maintenance

Les résultats suivants ont été obtenus après quelques minutes de traitement par l'outil Gencab.

MCO d'une flotte d'avions

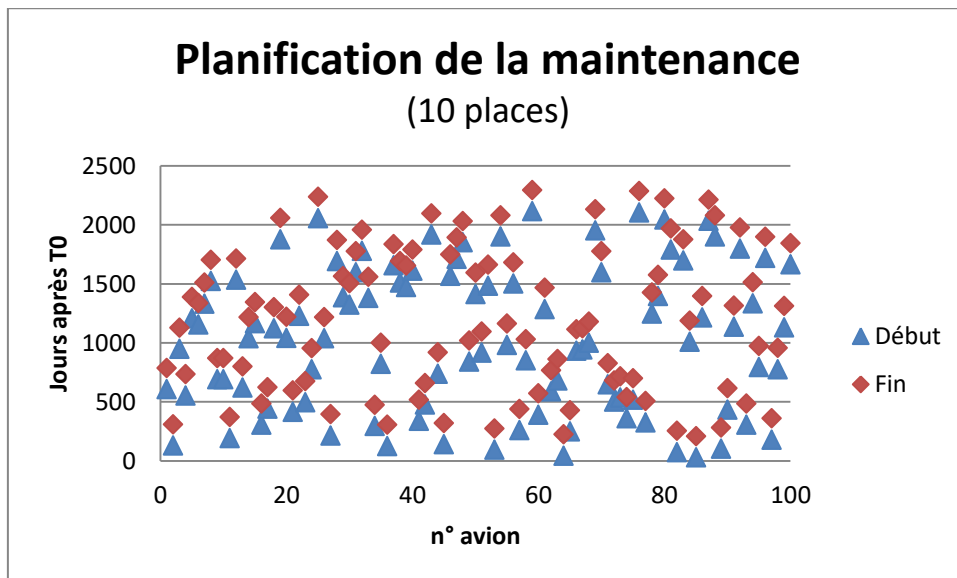
n° avion	Potentiel à T_0		Maintenance		Contrainte	Heures non utilisées	Heures non disponibles
	Heures de vol	Nb jours avant maintenance	Début (jr)	Fin (jr)	Places disponibles		
1	463	646	608	788	0	0	37
2	1235	1766	130	310	3	1129	0
3	756	1026	949	1129	0	0	24
4	437	595	554	734	0	0	19
5	1362	1946	1208	1388	1	369	0
6	372	538	1157	1337	0	0	578
7	1500	2145	1331	1511	1	406	0
8	1436	2050	1525	1705	1	182	0
9	547	750	691	871	0	0	21
89	85	121	102	282	5	1	0
90	23	33	435	615	0	0	335
91	691	927	1137	1317	1	0	243
92	1500	2159	1799	1979	1	21	0
93	1089	1519	307	487	0	837	0
94	1288	1743	1334	1514	0	192	0
95	1500	2066	795	975	1	847	0
96	703	972	1719	1899	0	0	711
97	946	1284	180	360	1	798	0
98	809	1170	777	957	1	171	0
99	397	555	1133	1313	2	0	534
100	1371	1967	1666	1846	0	2	0

0	29,27%	33,23%
---	--------	--------

Disponibilité moyenne : 61,64%



Feuille de calcul
Microsoft Excel



Feuille de calcul
Microsoft Excel

La disponibilité de la flotte apparait très dépendante du nombre de places allouées en maintenance comme le montrent les résultats de différentes optimisations.

Places en maintenance :	10	
Contrainte	non utilisées	non disponibles
0	29,27%	33,23%

Disponibilité moyenne : 61,64%

Places en maintenance :	12	
0	22,15%	24,39%

Disponibilité moyenne : 69,80%

Places en maintenance :	14	
0	18,34%	18,25%

Disponibilité moyenne : 75,47%

L'optimisation peut être relancée à tout moment, notamment à l'occurrence d'événements aléatoires (panne ou perte d'avion, retard de maintenance, etc.).

La consommation en heures de vol est supposée constante à partir de T0 et les durées de réparation sont considérées fixes.

L'analyse de données de retour d'expérience (REX) peut permettre de caractériser la variabilité de ces données afin de rendre l'optimisation robuste à l'aléa par :

- la gestion de marges dans le domaine déterministe,
- sa mise en œuvre dans le domaine aléatoire (couplage de l'optimisation à la simulation de Monte-Carlo).

Par ailleurs, la problématique MCO peut être complexifiée en lui associant, par exemple, celle des modifications (mises à niveau selon divers standards) ou de l'affectation des avions aux OPEX (Opérations Extérieures).

Des informations sur l'état de dégradation des matériels peuvent également y être intégrées dans le cadre du Health Monitoring (maintenance prédictive).

Remarques :

Outre l'exemple ici traité, c'est à l'opérateur de choisir ses propres critères et contraintes d'optimisation. Cherche-t-il à maximiser la disponibilité de la flotte dans une enveloppe de coûts (de maintenance ou globale de possession) ou de minimiser les coûts en garantissant un certain niveau de disponibilité ?

Des stratégies de maintenance quasi optimales auraient pu être imaginées pour résoudre ce cas d'école, sous réserve de ne pas complexifier la problématique.

Des problématiques voisines de celle du MCO peuvent être traitées de manière similaire, telles que l'optimisation d'un diagramme PERT traité par l'outil Caplan³ (voir le TP n° 47 intitulé ordonnancement robuste).

³ Présentation de Caplan disponible via le lien <http://cabinnovation.com/content/cabplan>