

L'USINE NOUVELLE

SÉRIE | GESTION INDUSTRIELLE

Jean-Claude Francastel

INGÉNIERIE DE LA MAINTENANCE

**De la conception
à l'exploitation d'un bien**

DUNOD

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	1
Introduction	5

A

La phase stratégique de l'ingénierie de maintenance

1 • Concepts et définitions	11
1.1 La fonction maintenance	11
1.1.1 La performance requise	12
1.1.2 Le cycle de vie	12
1.1.3 Notion de « coût global »	14
1.1.4 Les méthodes de maintenance	16
1.2 L'ingénierie de maintenance	17
1.2.1 Définitions normalisées	17
1.2.2 Les aptitudes requises	18
1.2.3 L'ingénierie de maintenance en phase projet	19
1.2.4 L'ingénierie de maintenance en phase d'exploitation	19
1.3 Analyse séquentielle de l'ingénierie de maintenance (IM)	19
1.3.1 Le projet d'investissement	19
1.3.2 La chronologie des actions d'IM	23
1.4 Analyse fonctionnelle de l'IM	24
1.4.1 Principes généraux de l'analyse fonctionnelle	24
1.4.2 Avant-projet ou définition des politiques et stratégies	25
1.4.3 Développement de l'IM	28
1.4.4 Mise en œuvre	30
1.4.5 Mise en exploitation	31

1.5	Les acteurs de l'IM	32
1.5.1	L'équilibrage de l'ouvrage	32
1.5.2	Les interfaces exploitants/concepteurs	34
1.5.3	La valeur ajoutée cachée	34
1.6	Analyse de la valeur de l'IM	37
2	L'interface maintenance/projet d'investissement	41
2.1	Définir une politique et une stratégie d'entreprise	43
2.1.1	La politique d'investissement	44
2.1.2	Le contexte et ses contraintes	45
2.2	Définir la politique d'exploitation et de maintenance	47
2.3	Établir les règles de sûreté de fonctionnement	49
2.3.1	La technologie des composants à maintenir	50
2.3.2	Les règles de standardisation	50
2.3.3	Les grandes options d'exploitation	51
2.3.4	La maintenabilité	52
2.3.5	La validation des choix technologiques	56
3	Stratégies et méthodes de maintenance	63
3.1	Évaluer la situation de départ	64
3.1.1	La situation intrinsèque	64
3.1.2	L'organisation existante	64
3.1.3	La situation extrinsèque	66
3.2	Préciser la stratégie de maintenance	69
3.2.1	Les technologies	69
3.2.2	Les lois et la réglementation	70
3.3	Choisir parmi les options de ressources humaines	75
3.4	Explorer les méthodologies de maintenance	77
3.5	Étudier les choix logistiques possibles	79
3.6	Quelle est la « bonne stratégie » ?	79

B

Les hommes et leurs outils

4	L'organisation générale	83
4.1	Les fonctions élémentaires de maintenance	83
4.1.1	La fonction de management de la maintenance	87

4.1.2	La fonction « méthodes »	87
4.1.3	La fonction « préparation »	88
4.1.4	La fonction « ordonnancement »	88
4.1.5	La fonction « qualité »	88
4.1.6	La fonction « gestion »	89
4.1.7	La fonction « coordination/supervision »	89
4.1.8	La fonction « sécurité »	90
4.1.9	La fonction « intervention »	90
4.1.10	Les interfaces d'exploitation	91
4.2	Préparer le recours aux services extérieurs	91
4.2.1	La relation contractuelle	92
4.2.2	Le choix des entreprises de maintenance	97
4.2.3	Les services après-vente	99
4.2.4	Externaliser l'ingénierie de maintenance	103
4.2.5	Définir les ressources internes	105
5	La mise en œuvre des structures	107
5.1	L'organisation de la maintenance	109
5.1.1	La note d'organisation	109
5.1.2	Les organigrammes	111
5.1.3	Les fiches de fonction	116
5.1.4	Les interfaces	132
5.2	Les systèmes de communication/information	137
5.2.1	La GMAO	139
5.2.2	La documentation	139
5.2.3	Les réunions de travail	139
5.2.4	Rapports et comptes rendus (ou retour d'expérience)	140
5.3	La mobilisation des moyens en personnel	141
5.3.1	Le recrutement interne	141
5.3.2	Les contrats d'externalisation	148
5.3.3	La formation interne	149
5.3.4	La formation externe	151
6	Les méthodes de maintenance	153
6.1	Le tronc commun des méthodes de maintenance	154
6.1.1	Le projet d'entreprise	154
6.1.2	La collecte des informations de base	155
6.1.3	Constituer la documentation	159
6.1.4	Recueillir les préconisations des constructeurs	160

6.2	Évaluer les risques de défaillance	161
6.2.1	Les étapes d'une étude de risques	163
6.2.2	Les caractéristiques du risque	164
6.2.3	La fiabilité humaine	168
6.2.4	Les responsabilités devant les risques	168
6.3	Faire des choix parmi les démarches analytiques	170
6.3.1	L'analyse préliminaire des risques (APR)	172
6.3.2	Analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)	175
6.3.3	L'analyse par arbre des événements (AAE)	177
6.3.4	L'analyse par arbre des défauts (ADD)	183
6.3.5	Prendre des décisions devant les risques	185
6.4	Faire des choix parmi les méthodes stratégiques	191
6.4.1	La MBF (maintenance basée sur la fiabilité)	192
6.4.2	Le RBI (<i>risk based inspection</i>)	204
6.4.3	La TPM (<i>total productive maintenance</i>)	218
6.5	Mise en œuvre des méthodes	223
6.5.1	Les manuels d'exploitation et de maintenance	223
6.5.2	Les méthodes d'intervention	225
6.5.3	Le programme de maintenance préventive systématique	230
6.5.4	Les grandes opérations de maintenance	230
6.6	Assurer la qualité du service de maintenance	244
6.6.1	Le contenu d'un plan assurance qualité spécifique (PAQS)	244
6.6.2	Procédures spécifiques	244
6.6.3	Système de contrôle de la qualité	244
6.7	Assurer la sécurité des travaux de maintenance	252
6.7.1	Documents applicables	253
6.7.2	Le plan prévention	253
6.7.3	L'évaluation des risques	253
6.7.4	La préparation des autorisations de travaux	254
6.8	Préparer l'ordonnancement des travaux de maintenance	254
6.8.1	L'initiation du travail	254
6.8.2	L'ordre de travail (OT)	258

La préparation des aides aux décisions

7 • Le budget de maintenance	267
7.1 Structurer le budget de maintenance	267
7.1.1 Le budget d'ingénierie de maintenance	267
7.1.2 Le budget de fonctionnement de la maintenance	268
7.1.3 Le budget de maintenance courante	271
7.1.4 Le budget des grandes opérations	271
7.1.5 Le budget d'améliorations/modifications	271
7.1.6 L'assistance à l'exploitant	271
7.2 Évaluer et simuler le budget de maintenance	272
7.2.1 Coûts de maintenance de référence (année 20xx)	273
7.2.2 Coûts de main-d'œuvre de maintenance de référence (année 20xx)	275
7.2.3 Validation du budget MCE par comparaison à des ratios	275
7.2.4 Ratios de main-d'œuvre	281
7.2.5 Exemple de répartition d'un budget de maintenance	281
7.2.6 Exemple de structure budgétaire d'une entreprise sous-traitante	281
8 • La GMAO	287
8.1 Définition et but de la GMAO	287
8.2 L'évolution de la GMAO	288
8.3 Sélectionner un progiciel de GMAO	290
8.3.1 Allouer un budget	290
8.3.2 Énoncer les objectifs et contraintes	292
8.3.3 Analyser l'existant	293
8.3.4 Étudier et exprimer les besoins (rédiger le cahier des charges fonctionnel ou CdCF)	294
8.3.5 Évaluer le poids des fonctions élémentaires du CdCF	297
8.3.6 Inventorier les progiciels du marché susceptibles de répondre au CdCF	297
8.3.7 Consulter les fournisseurs, valider les offres	299
8.3.8 Faire un choix et le valider (analyse de la valeur)	299
8.3.9 Choisir les outils complémentaires	302
8.3.10 Assurer la formation des utilisateurs	302
8.3.11 Résoudre les phénomènes induits	302
8.3.12 Analyser les gains potentiels	303

9 • La documentation	307
9.1 Collecter et gérer la documentation	307
9.1.1 Principes généraux	307
9.1.2 Analyser les besoins et les contraintes	308
9.1.3 Exemple de développement d'une GED	312
9.1.4 Produire la documentation	313
9.2 Spécifier les échanges d'informations électroniques	320
9.2.1 Définir la nature de l'information à saisir	320
9.2.2 Définir la composition documentaire	321
9.2.3 Identifier les fichiers et définir les modalités d'échange	322
9.2.4 Valider les fournitures	322
10 • La surveillance numérique des équipements	325
10.1 Adopter une architecture	325
10.2 Assurer les fonctions essentielles	327
10.3 Les avantages des systèmes numériques pour la fonction maintenance	329
10.3.1 La communication	330
10.3.2 La fiabilisation des mesures	330
10.3.3 Le traitement des alarmes	330
10.3.4 Le diagnostic en ligne	331
10.3.5 Le traitement du contrôle qualité des produits	331
10.3.6 L'interface avec la GMAO	331
10.3.7 Les risques potentiels	331
10.3.8 Les retombées de la surveillance numérique	332
11 • Les aides aux diagnostics	335
11.1 Rappel des principes de la maintenance conditionnelle	335
11.1.1 Les paramètres de surveillance	335
11.1.2 L'organisation de la maintenance conditionnelle	337
11.2 Les contrôles non destructifs (CND) des appareils statiques	338
11.2.1 Adopter une démarche de contrôle non destructif	338
11.2.2 Concevoir les capacités métalliques sous pression	339
11.2.3 Identifier les risques de dégradation	341
11.2.4 Préparer les CND	343
11.2.5 Appliquer la réglementation	344
11.2.6 Choisir les méthodes et outils de CND	345

11.3	Les contrôles des équipements dynamiques	366
11.3.1	La surveillance vibratoire des machines tournantes	367
11.3.2	Établir un budget d'acquisition des moyens de surveillance vibratoire	374
11.3.3	Les analyses d'huile	375
11.4	Les systèmes « experts »	378

D

L'intégration de la logistique

12 • Le stock de pièces de rechange	383
12.1 La problématique du stock	383
12.1.1 Rappel des principes comptables	383
12.1.2 Les principes de gestion d'un stock de pièces de rechange	384
12.2 Le processus de constitution d'un stock de rechanges	384
12.2.1 Distinguer les modes de réapprovisionnement	384
12.2.2 Adopter une stratégie générale	386
12.2.3 Constituer des réserves de démarrage	388
12.2.4 Sélectionner les « rechanges lourdes »	388
12.2.5 Sélectionner les rechanges d'une dotation initiale	388
12.2.6 Choisir les pièces de rechange à stocker	392
12.3 Mettre en œuvre le stock de pièces de rechange	403
12.3.1 Étudier les différentes prestations externes	403
12.3.2 Lancer les achats	406
12.3.3 Réceptionner la fourniture	406
12.3.4 Stocker (ou magasiner)	406
12.4 Le stock consignation	407
12.4.1 Le choix stratégique	407
12.4.2 Les principales règles	408
12.5 L'organisation de la gestion des pièces de rechange	410
13 • Les locaux de la maintenance	419
13.1 Le magasin de pièces de rechange	419
13.1.1 Les principes de stockage des pièces de rechange	420
13.1.2 Les moyens de manutention	425

13.2	Les ateliers et aires de travail	425
13.2.1	Les machines-outils	427
13.2.2	Les établis	427
13.2.3	L'atelier de chaudronnerie	429
13.2.4	L'atelier d'électricité	430
13.2.5	L'atelier d'instrumentation	431
13.2.6	Le magasin d'outillage	432
13.2.7	Les moyens de levage et manutention communs	433
13.2.8	Les ateliers sectoriels	434
13.2.9	Les zones extérieures	434
13.2.10	Les utilités et effluents	435
13.3	Les bureaux	436
13.4	La réception des locaux et équipements	437
13.4.1	La réception des ateliers, bureaux et magasins	437
13.4.2	La réception des équipements d'ateliers et outillages	438

E

L'exploitation du bien

14 •	La mise en exploitation	441
14.1	L'approbation des documents de conception du bien	441
14.1.1	L'échéancier de construction/livraison	442
14.1.2	Les schémas de procédé et d'instrumentation (P&I)	442
14.1.3	Les listes d'équipements	442
14.1.4	Les listes de pièces de rechange	442
14.1.5	Les préconisations d'exploitation et maintenance	443
14.1.6	Les certificats de conformité	443
14.1.7	Les documents d'engineering du projet	443
14.2	Les contrôles qualité avant livraison	444
14.2.1	La conformité technologique	444
14.2.2	L'assurance de la qualité	444
14.2.3	Les pièces de rechange	444
14.2.4	Le contrôle budgétaire	445
14.3	Le commissionning	445
14.3.1	Les mises en sécurité	447
14.3.2	L'application du plan de lubrification	449
14.3.3	Les contrôles statiques (ou précommissionning)	451
14.3.4	Les contrôles dynamiques	453

14.4	La réception	455
14.4.1	La réception provisoire ou transfert de propriété	455
14.4.2	La réception définitive	456
14.4.3	Les procédures de démarrage	456
14.4.4	La marche industrielle (ou productive ou opérationnelle)	456
14.4.5	La réception définitive	458
14.4.6	Le recours aux garanties et assurances	458
15 •	La gestion du cycle de vie	461
15.1	La maîtrise de la sûreté de fonctionnement	461
15.1.1	La mesure de la fiabilité	462
15.1.2	La mesure de la disponibilité	464
15.1.3	La mesure de la maintenabilité	465
15.1.4	La mesure de la sécurité	466
15.2	La maîtrise du coût global	468
15.2.1	Les paramètres	468
15.2.2	Le calcul du coût global (CG) ou <i>life cycle cost</i> (LCC)	470
15.2.3	L'âge optimal de remplacement	471
15.3	La justification des choix	473
15.3.1	La méthode	473
15.3.2	Le plan de travail	477
15.3.3	L'analyse fonctionnelle de la maintenance	477
15.3.4	L'analyse de la valeur en maintenance	479
	Conclusion	485
	Bibliographie	489
	Index	491