

L'USINENOUVELLE

SÉRIE | GESTION INDUSTRIELLE

Jean-Claude Francastel

INGÉNIERIE DE LA MAINTENANCE

De la conception
à l'exploitation d'un bien

2^e édition

DUNOD

TABLE DES MATIÈRES

Préface	V
Avant-propos	1
Introduction	5

A

La phase stratégique de l'ingénierie de maintenance

1 • Concepts et définitions	11
1.1 La fonction maintenance	12
1.1.1 La performance requise	12
1.1.2 Le cycle de vie	13
1.1.3 Notion de « coût global »	15
1.1.4 Les méthodes de maintenance	17
1.2 L'ingénierie de maintenance	17
1.2.1 Définitions normalisées	18
1.2.2 Les aptitudes requises	19
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)	20
1.3.1 Le projet d'investissement	20
1.3.2 La chronologie des actions d'IM	23
1.4 Analyse fonctionnelle de l'IM	25
1.4.1 Principes généraux de l'analyse fonctionnelle	25
1.4.2 Avant-projet ou définition des politiques et stratégies	26
1.4.3 Développement de l'IM	29
1.4.4 Mise en œuvre	31

1.4.5	Mise en exploitation	32
1.5	Les acteurs de l'IM	33
1.5.1	L'équilibrage de l'ouvrage	33
1.5.2	Les interfaces exploitants/concepteurs	35
1.5.3	La valeur ajoutée cachée	35
1.6	Analyse de la valeur de l'IM	38
2	L'interface maintenance/projet d'investissement	41
2.1	Définir une politique et une stratégie d'entreprise	42
2.1.1	La politique d'investissement	45
2.1.2	Le contexte et ses contraintes	46
2.2	Définir la politique d'exploitation et de maintenance	49
2.3	Établir les règles de sûreté de fonctionnement	50
2.3.1	La technologie des composants à maintenir	51
2.3.2	Les règles de standardisation	52
2.3.3	Les grandes options d'exploitation	53
2.3.4	La maintenabilité	53
2.3.5	La validation des choix technologiques	58
3	Stratégies et méthodes de maintenance	65
3.1	Évaluer la situation de départ	67
3.1.1	La situation intrinsèque	67
3.1.2	L'organisation existante	67
3.1.3	La situation extrinsèque	69
3.2	Préciser la stratégie de maintenance	70
3.2.1	Les technologies	72
3.2.2	Les lois et la réglementation	73
3.3	Choisir parmi les options de ressources humaines	78
3.4	Explorer les méthodologies de maintenance	81
3.5	Étudier les choix logistiques possibles	83
3.6	Quelle est la « bonne stratégie » ?	83

B

Les hommes et leurs outils

4	L'organisation générale	89
4.1	Les fonctions élémentaires de maintenance	89
4.1.1	La fonction de management de la maintenance	93

4.1.2	La fonction « méthodes »	93
4.1.3	La fonction « préparation »	94
4.1.4	La fonction « ordonnancement »	94
4.1.5	La fonction « qualité »	94
4.1.6	La fonction « gestion »	95
4.1.7	La fonction « coordination/supervision »	95
4.1.8	La fonction « hygiène et sécurité »	96
4.1.9	La fonction « intervention »	97
4.1.10	Les interfaces d'exploitation	97
4.2	Préparer le recours aux services extérieurs	98
4.2.1	L'évolution de la maintenance contractée	98
4.2.2	La relation contractuelle	102
4.2.3	Le choix des entreprises de maintenance	106
4.2.4	Les services après-vente	108
4.2.5	Externaliser l'ingénierie de maintenance (IM)	114
4.2.6	Définir les ressources internes	117
4.2.7	La répartition des responsabilités	118
5 *	La mise en œuvre des structures	121
5.1	L'organisation de la maintenance	122
5.1.1	La note d'organisation	122
5.1.2	Les organigrammes	125
5.1.3	Les fiches de fonction	130
5.1.4	Les interfaces	146
5.2	Les systèmes de communication/information	152
5.2.1	La GMAO	152
5.2.2	La documentation	152
5.2.3	Les réunions de travail	154
5.2.4	Rapports et comptes rendus (ou retour d'expérience)	154
5.3	La mobilisation des moyens en personnel	155
5.3.1	Le recrutement interne	156
5.3.2	Les contrats d'externalisation	163
5.3.3	La formation interne	164
5.3.4	La formation externe	166
6 *	Les méthodes de maintenance	167
6.1	Le tronc commun des méthodes de maintenance	168
6.1.1	Le projet d'entreprise	168
6.1.2	La collecte des informations de base	170

		174
6.1.3	Constituer la documentation	175
6.1.4	Recueillir les préconisations des constructeurs	176
6.2	Évaluer les risques de défaillance	178
6.2.1	Les étapes d'une étude de risques	179
6.2.2	Les caractéristiques du risque	184
6.2.3	La fiabilité humaine	184
6.2.4	Les responsabilités devant les risques	186
6.3	Faire des choix parmi les démarches analytiques	189
6.3.1	L'analyse préliminaire des risques (APR)	190
6.3.2	Analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)	194
6.3.3	L'analyse par arbre des événements (AAE)	199
6.3.4	L'analyse par arbre des défauts (ADD)	202
6.3.5	Prendre des décisions devant les risques	208
6.4	Faire des choix parmi les méthodes stratégiques	
6.4.1	La MBF (Maintenance basée sur la fiabilité) ou RCM (Reliability centered maintenance)	209
6.4.2	Le RBI (<i>risk based inspection</i>)	223
6.4.3	La TPM (<i>total productive maintenance</i>)	237
6.4.4	Le lean manufacturing	243
6.4.5	Les « Cinq S »	244
6.5	Mise en œuvre des méthodes	244
6.5.1	Les manuels d'exploitation et de maintenance	245
6.5.2	Les méthodes d'intervention	247
6.5.3	Le programme de maintenance préventive systématique	251
6.5.4	Les grandes opérations de maintenance	264
6.6	Assurer la qualité du service de maintenance	265
6.6.1	Le contenu d'un plan assurance qualité spécifique (PAQS)	265
6.6.2	Procédures spécifiques	265
6.6.3	Système de contrôle de la qualité	273
6.7	Assurer la sécurité des travaux de maintenance	
6.7.1	Hygiène et sécurité - Évolution de la législation et documents applicables	274
6.7.2	Principales vérifications réglementaires au titre de la sécurité	274
6.7.3	Traçabilité des vérifications techniques	276
6.7.4	Le plan prévention	277
6.7.5	L'évaluation des risques	277
6.7.5	La préparation des autorisations de travaux	277

6.8	Préparer l'ordonnancement des travaux de maintenance	278
6.8.1	L'initiation du travail	278
6.8.2	L'ordre de travail (OT)	278

C

La préparation des aides aux décisions

7 *	Les budgets de maintenance	291
7.1	Structurer le budget de maintenance	291
7.1.1	Le budget d'ingénierie de maintenance	291
7.1.2	Le budget de fonctionnement de la maintenance	292
7.1.3	Le budget de maintenance courante	295
7.1.4	Le budget des grandes opérations	295
7.1.5	Le budget d'améliorations/modifications	296
7.1.6	L'assistance à l'exploitant	296
7.2	Évaluer et simuler le budget de maintenance	296
7.2.1	Coûts de maintenance de référence (année 20xx)	298
7.2.2	Coûts de main-d'œuvre de maintenance de référence (année 20xx)	300
7.2.3	Validation du budget MCE par comparaison à des ratios	300
7.2.4	Ratios de main-d'œuvre	306
7.2.5	Exemple de répartition d'un budget de maintenance	306
7.2.6	Exemple de structure budgétaire d'une entreprise sous-traitante	306
8 *	La GMAO	313
8.1	Définition et but de la GMAO	314
8.2	L'évolution de la GMAO	315
8.3	Sélectionner un progiciel de GMAO	316
8.3.1	Allouer un budget	317
8.3.2	Énoncer les objectifs et contraintes	319
8.3.3	Analyser l'existant	319
8.3.4	Étudier et exprimer les besoins (rédiger le cahier des charges fonctionnel ou CdCF)	320
8.3.5	Évaluer le poids des fonctions élémentaires du CdCF	322
8.3.6	Inventorier les progiciels du marché susceptibles de répondre au CdCF	325
8.3.7	Consulter les fournisseurs, valider les offres	325
8.3.8	Faire un choix et le valider (analyse de la valeur)	326

8.3.9	Choisir les outils complémentaires	327
8.3.10	Assurer la formation des utilisateurs	327
8.3.11	Résoudre les phénomènes induits	329
8.3.12	Analyser les gains potentiels	330
8.4	La GMAO : outil de prévention et de gestion des risques	331
9	• La documentation	333
9.1	Collecter et gérer la documentation	333
9.1.1	Principes généraux	333
9.1.2	Analyser les besoins et les contraintes	335
9.1.3	Exemple de développement d'une GED	338
9.1.4	Produire la documentation	340
9.2	Spécifier les échanges d'informations électroniques	347
9.2.1	Définir la nature de l'information à saisir	347
9.2.2	Définir la composition documentaire	348
9.2.3	Identifier les fichiers et définir les modalités d'échange	349
9.2.4	Valider les fournitures	350
10	• La surveillance numérique des équipements	351
10.1	Adopter une architecture	351
10.2	Assurer les fonctions essentielles	353
10.3	Les avantages des systèmes numériques pour la fonction maintenance	356
10.3.1	La communication	356
10.3.2	La fiabilisation des mesures	357
10.3.3	Le traitement des alarmes	357
10.3.4	Le diagnostic en ligne	357
10.3.5	Le traitement du contrôle qualité des produits	357
10.3.6	L'interface avec la GMAO	358
10.3.7	Les risques potentiels	358
10.3.8	Les retombées de la surveillance numérique	358
11	• Les aides aux diagnostics	361
11.1	Rappel des principes de la maintenance conditionnelle	361
11.1.1	Les paramètres de surveillance	362
11.1.2	L'organisation de la maintenance conditionnelle	363
11.2	Les contrôles non destructifs (CND) des appareils statiques	364
11.2.1	Adopter une démarche de contrôle non destructif	364
11.2.2	Concevoir les capacités métalliques sous pression	365
11.2.3	Identifier les risques de dégradation	368
11.2.4	Préparer les CND	370

11.2.5	Appliquer la réglementation	371
11.2.6	Choisir les méthodes et outils de CND	372
11.3	Les contrôles des équipements dynamiques	393
11.3.1	La surveillance vibratoire des machines tournantes	393
11.3.2	Établir un budget d'acquisition des moyens de surveillance vibratoire	400
11.3.3	Les analyses d'huile	402
11.4	Les systèmes « experts »	405

D

L'intégration de la logistique

12 *	Le stock de pièces de rechange	409
12.1	Le stock de pièces de rechange et ses principes	409
12.1.1	Rappel des principes comptables	409
12.1.2	Les principes de gestion d'un stock de pièces de rechange	410
12.2	Le processus de constitution d'un stock de rechanges	410
12.2.1	Distinguer les modes de réapprovisionnement	411
12.2.2	Adopter une stratégie générale	412
12.2.3	Constituer des réserves de démarrage	414
12.2.4	Sélectionner les « rechanges lourdes »	414
12.2.5	Sélectionner les rechanges d'une dotation initiale	414
12.2.6	Choisir les pièces de rechange à stocker	418
12.3	Mettre en œuvre le stock de pièces de rechange	431
12.3.1	Étudier les différentes prestations externes	431
12.3.2	Lancer les achats	432
12.3.3	Réceptionner la fourniture	432
12.3.4	Stocker (ou magasiner)	434
12.4	Le stock consignation	434
12.4.1	Le choix stratégique	434
12.4.2	Les principales règles	436
12.5	L'organisation de la gestion des pièces de rechange	437
13 *	Les locaux de la maintenance	447
13.1	Le magasin de pièces de rechange	447
13.1.1	Les principes de stockage des pièces de rechange	448
13.1.2	Les moyens de manutention	453
13.2	Les ateliers et aires de travail	454

13.2.1	Les machines-outils	455
13.2.2	Les établis	457
13.2.3	L'atelier de chaudronnerie	457
13.2.4	L'atelier d'électricité	458
13.2.5	L'atelier d'instrumentation	459
13.2.6	Le magasin d'outillage	460
13.2.7	Les moyens de levage et manutention communs	462
13.2.8	Les ateliers sectoriels	462
13.2.9	Les zones extérieures	462
13.2.10	Les utilités et effluents	463
13.3	Les bureaux	464
13.4	La réception des locaux et équipements	465
13.4.1	La réception des ateliers, bureaux et magasins	465
13.4.2	La réception des équipements d'ateliers et outillages	466

E

L'exploitation du bien

14 • La mise en exploitation	469
14.1 L'approbation des documents de conception du bien	469
14.1.1 L'échéancier de construction/livraison	470
14.1.2 Les schémas de procédé et d'instrumentation (P&I)	470
14.1.3 Les listes d'équipements	470
14.1.4 Les listes de pièces de rechange	470
14.1.5 Les préconisations d'exploitation et maintenance	471
14.1.6 Les certificats de conformité	471
14.1.7 Les documents d'engineering du projet	471
14.2 Les contrôles qualité avant livraison	472
14.2.1 La conformité technologique	472
14.2.2 L'assurance de la qualité	472
14.2.3 Les pièces de rechange	472
14.2.4 Le contrôle budgétaire	473
14.3 Le commissioning	473
14.3.1 Les mises en sécurité	475
14.3.2 L'application du plan de lubrification	478
14.3.3 Les contrôles statiques (ou précommissioning)	478
14.3.4 Les contrôles dynamiques	482

14.4	La réception	482
14.4.1	La réception provisoire ou transfert de propriété	482
14.4.2	La réception définitive	484
14.4.3	Les procédures de démarrage	484
14.4.4	La marche industrielle (ou productive ou opérationnelle)	484
14.4.5	La réception définitive	486
14.4.6	Le recours aux garanties et assurances	486
15 *	La gestion du cycle de vie	489
15.1	La maîtrise de la sûreté de fonctionnement	490
15.1.1	La mesure de la fiabilité	490
15.1.2	La mesure de la disponibilité	492
15.1.3	La mesure de la maintenabilité	493
15.1.4	La mesure de la sécurité	494
15.2	La maîtrise du coût global	497
15.2.1	Les paramètres	498
15.2.2	Le calcul du coût global (CG) ou <i>life cycle cost</i> (LCC)	500
15.2.3	L'âge optimal de remplacement	500
15.3	La justification des choix	502
15.3.1	La méthode	503
15.3.2	Le plan de travail	505
15.3.3	L'analyse fonctionnelle de la maintenance	507
15.3.4	L'analyse de la valeur en maintenance	509
Annexe : Cahier des charges d'ingénierie de maintenance et inspection		515
1.	Objet	515
2.	Termes contractuels	515
3.	Équipements concernés	516
4.	Documents contractuels de base	516
4.	Descriptif de l'étude	517
5.	Documents à fournir par l'EIM	517
Conclusion		521
Bibliographie		525
Index		529