

# SOMMAIRE

## Préface

<b>Chapitre 1 — Les concepts temps réel .....</b>	<b>1</b>
<i>1. Historique .....</i>	<i>1</i>
<i>2. Le multitâche .....</i>	<i>4</i>
2.1. Principes de base .....	4
2.1.1. Objectifs .....	4
2.1.2. Notion de processus .....	5
2.1.3. Quasi-parallélisme et réelle simultanété .....	9
2.1.4. Les appels au système .....	11
2.2. Communication et synchronisation .....	14
2.2.1. Introduction .....	14
2.2.2. Processus synchrones et asynchrones .....	14
2.2.3. Les ressources matérielles et logicielles .....	16
2.2.4. Le partage des ressources .....	17
2.2.5. Les sémaphores .....	21
2.2.6. Les événements .....	28
2.2.7. Les boîtes aux lettres .....	30
2.2.8. Les files d'attente .....	31
2.3. L'ordonnancement des processus .....	33
2.3.1. Le "scheduler" ou ordonnanceur .....	36
2.3.2. Le "dispatcher" ou répartiteur .....	36
2.3.3. La commutation de tâches .....	37
2.3.4. Les critères de sélection .....	42
2.3.5. Les stratégies d'ordonnancement .....	44
2.4. La technique du temps partagé .....	46
2.4.1. Partage du temps en round-robin simple .....	46

## *Le temps réel en milieu industriel*

2.4.2. Le choix du quantum de temps .....	4
2.4.3. Les files d'attente multiples .....	4
2.4.4. L'approche "temps réel" .....	4
<b>3. Les spécificités temps réel .....</b>	<b>5</b>
3.1. Introduction .....	5
3.1.1. Des définitions .....	5
3.1.2. Un exemple .....	5
3.1.3. La relativité du concept de temps réel .....	5
3.1.4. Les contraintes temps réel .....	5
3.2. Notions de moniteur et de primitives .....	5
3.2.1. Les moniteurs temps réel .....	6
3.2.2. Les primitives temps réel .....	6
3.3. Le facteur "temps" .....	6
3.3.1. La validité des informations dans le temps .....	6
3.3.2. L'urgence et les délais .....	6
3.3.3. La préemption .....	6
3.4. Multitâche et temps réel .....	7
3.4.1. Les différences .....	7
3.4.2. Un exemple concret .....	7
3.4.3. Les "idées reçues" .....	7
<b>4. Le projet SCEPTRE .....</b>	<b>75</b>
4.1. Présentation générale .....	75
4.1.1. L'historique .....	75
4.1.2. Les objectifs .....	76
4.1.3. L'approche temps réel de SCEPTRE .....	77
4.1.4. Les éléments de SCEPTRE .....	79
4.1.5. Groupes d'états et états d'une tâche .....	80
4.1.6. Les primitives .....	81
4.2. Les opérateurs temps-réel de SCEPTRE .....	84
4.2.1. La gestion des tâches .....	84
4.2.2. La signalisation .....	85
4.2.3. La communication .....	86
4.2.4. L'exclusion mutuelle .....	87
4.2.5. Les exceptions .....	91
4.3. Les services de haut-niveau de SCEPTRE .....	92
4.3.1. Le modèle producteur/consommateur .....	92
4.3.2. Les sémaphores .....	94
4.3.3. Les "monitors" .....	95
4.3.4. Les "control-queues" .....	96

4.4. L'évolution du projet SCEPTRE .....	97
4.4.1. Le bilan du projet .....	97
4.4.2. Le projet SCEPTRE-2 .....	98
<b>Chapitre 2 — L'environnement temps réel .....</b>	<b>101</b>
1. <i>Introduction</i> .....	101
2. <i>Génie logiciel et temps réel</i> .....	102
2.1. Définitions .....	102
2.1.1. Le génie logiciel .....	102
2.1.2. Le cycle de vie .....	103
2.2. Spécification d'un système temps réel.....	104
2.2.1. Les contraintes.....	104
2.2.2. Les langages de spécification formelle .....	105
2.2.3. Caractéristiques des langages de simulation .....	107
2.3. Méthodes d'analyse et de conception .....	108
2.3.1. L'analyse structurée .....	108
2.3.2. Les extensions temps réel de S.A.R.T. ....	110
2.3.3. Les caractéristiques d'E.S.M.L. ....	112
2.3.4. La conception temps réel .....	114
2.4. Ateliers de développement de systèmes temps réel .....	115
2.4.1. Caractéristiques .....	115
2.4.2. Critères de choix .....	116
2.4.3. Quelques ateliers industriels de développement temps réel .....	117
2.5. Conclusion .....	124
2.5.1. L'outil idéal .....	124
2.5.2. L'approche par les objets .....	125
3. <i>Langages évolués et temps réel</i> .....	126
3.1. Caractéristiques d'un langage temps réel .....	126
3.1.1. Langages d'assemblage et langages évolués .....	126
3.1.2. Critères de choix .....	127
3.2. Exemples de langages .....	128
3.2.1. les langages évolués classiques .....	128
3.2.2. Le langage Forth .....	130
3.2.3. La langage Modula-2 .....	131
3.2.4. Le langage LTR .....	133
3.2.5. Le langage OCCAM .....	134

3.3. Aspects temps réel du langage Ada .....	132
3.3.1. Présentation générale .....	132
3.3.2. Le concept de tâche en Ada .....	133
3.3.3. Instructions de gestion des tâches .....	133
3.3.4. Communication et synchronisation : le concept de rendez-vous .....	134
3.3.5. Le langage Ada et les spécificités matérielles .....	135
3.3.6 Conclusion .....	140
3.4. Perspectives .....	140
4. Aspects matériels du temps réel .....	140
4.1. Critères de choix matériels .....	140
4.1.1. Le processeur .....	140
4.1.2. Le bus d'interconnexion .....	140
4.1.3. Les périphériques .....	150
4.2. Les interruptions .....	151
4.2.1. Le mécanisme d'interruption .....	151
4.2.2. La mise en œuvre des interruptions .....	151
4.2.3. Gestion des interruptions et exécutifs temps réel .....	151
4.3. Datation des informations .....	160
4.3.1. Timers et sabliers .....	160
4.3.2. Les circuits horloge temps réel .....	161
4.3.3. L'utilisation des horloges dans les exécutifs temps réel .....	161
4.4. Les nouveaux concepts .....	166
4.4.1. Les mémoires cache .....	166
4.4.2. Le concept de coprocesseur .....	166
4.4.3. Les systèmes à processeurs multiples .....	167
4.4.4. Les perspectives .....	168
<b>Chapitre 3 — Les exécutifs temps réel .....</b>	<b>171</b>
<i>1. Présentation générale .....</i>	<i>171</i>
1.1. Préambule .....	171
1.2. Du noyau au système temps réel .....	171
1.2.1. Noyau et moniteur temps réel .....	171
1.2.2. Exécutif temps réel .....	171
1.2.3. Système d'exploitation temps réel .....	171
1.2.4. Résumé .....	174
1.3. Le niveau exécutif .....	174
1.3.1. Rôle d'un exécutif .....	174

1.3.2. Critères de choix .....	175
1.3.3. Exécutif temps réel ou application autonome ? .....	180
1.4. Les spécificités des implémentations .....	182
1.4.1. L'ordonnancement .....	182
1.4.2. La synchronisation par signaux .....	183
1.4.3. L'implantation de nouvelles agences .....	186
1.4.4. Les spécificités des implémentations .....	190
2. <i>Les principaux exécutifs temps réel</i> .....	194
2.1. Aperçu de l'offre .....	194
2.1.1. L'offre globale .....	194
2.1.2. Les exécutifs "applicatifs" .....	196
2.1.3. Les choix de présentation .....	197
2.2. RTC : un exécutif très proche de SCEPTRE .....	198
2.2.1. Présentation .....	198
2.2.2. Primitives et fonctions temps réel .....	198
2.2.3. Autres caractéristiques .....	203
2.3. VxWORKS : un exécutif en environnement UNIX .....	204
2.3.1. Présentation .....	204
2.3.2. Caractéristiques temps réel .....	205
2.3.3. L'interface avec UNIX .....	207
2.3.4. Autres particularités .....	208
2.4. VRTX: un exécutif quasi-standard .....	209
2.4.1. Présentation .....	209
2.4.2. La gestion des tâches .....	210
2.4.3. Synchronisation et communication .....	211
2.4.4. Le traitement des interruptions .....	213
2.4.5. Les autres caractéristiques .....	215
2.4.6. Les extensions et l'environnement de développement .....	215
2.5. Conclusion .....	217
2.5.1. Tableau récapitulatif .....	217
2.5.2. Exécutifs et architectures multiprocesseurs .....	217
3. <i>OS9: exemple d'un exécutif temps réel</i> .....	219
3.1. Présentation générale .....	219
3.1.1. Historique .....	219
3.1.2. Organisation .....	219
3.2. La gestion du multitâche .....	220
3.2.1. Principe .....	220
3.2.2. Les états des tâches .....	222
3.2.3. Les primitives .....	222

3.3. Communication et synchronisation entre tâches .....	22
3.3.1. Les différents outils disponibles .....	22
3.3.2. La synchronisation par signaux .....	22
3.3.3. Les tubes de communication .....	22
3.4. Les spécificités temps-réel d'OS9 .....	22
3.4.1. Présentation .....	22
3.4.2. Les événements .....	22
3.4.3. Les modules de données .....	22
3.4.4. La gestion du déterminisme .....	23
4. Exemple d'une application temps réel .....	23
4.1. Préambule .....	23
4.1.1. Les objectifs .....	23
4.1.2. Présentation de l'application .....	23
4.1.3. L'environnement matériel .....	23
4.2. Les différentes étapes de développement .....	24
4.2.1. L'élaboration d'un cahier des charges .....	24
4.2.2. L'analyse .....	24
4.2.3. La démarche de conception .....	24
4.2.4. Les phases de codage, d'intégration et de maintenance .....	24
4.3. L'interface avec l'exécutif .....	24
4.3.1. Le découpage en tâches .....	25
4.3.2. La synchronisation .....	25
4.3.3. Le partage des informations .....	25
4.3.4. La gestion des interruptions .....	25
4.3.5. L'implémentation logicielle .....	25
Annexe 1 — Modèle d'exécutif temps réel .....	26
Annexe 2 — Exemples de programmes .....	26
Annexe 3 — Implémentation logicielle de l'application .....	27
Bibliographie .....	29
Index .....	29