

# Table des matières

---

|   |    |
|---|----|
| <b>Remerciements</b> .....                                | V  |
| <b>Préface</b> .....                                      | 1  |
| <b>Avant-propos</b> .....                                 | 3  |
| <b>À qui s'adresse ce livre ?</b> .....                   | 3  |
| <b>Structure de l'ouvrage</b> .....                       | 4  |
| <b>Précisions concernant cette deuxième édition</b> ..... | 4  |
| <b>Introduction</b> .....                                 | 7  |
| <b>Qu'est-ce que Linux ?</b> .....                        | 7  |
| <b>Qu'est-ce que l'Open Source ?</b> .....                | 7  |
| <b>Un peu d'histoire : de Minix à Linux</b> .....         | 9  |
| <b>What is GNU ? Gnu is Not Unix</b> .....                | 11 |

## PREMIÈRE PARTIE

---

|  |    |
|--|----|
| <b>Systemes embarqués, généralités</b> .....                       | 15 |
| CHAPITRE 1   |    |
| <b>Les logiciels embarqués et leurs domaines d'application</b> ..  | 17 |
| <b>Qu'est-ce qu'un logiciel embarqué ?</b> .....                   | 17 |
| <b>Quelles sont les caractéristiques d'un tel logiciel ?</b> ..... | 17 |
| Ciblé .....  | 17 |
| Fiable et sécurisé .....   | 18 |
| Maintenable dans le temps .....                                    | 18 |
| Spécifique .....   | 18 |
| Optimisé .....   | 18 |
| <b>Logiciel embarqué ou système embarqué ?</b> .....               | 19 |
| <b>Les champs d'application</b> .....                              | 21 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Typologie des systèmes embarqués</b> .....      | 24 |
| Temps partagé et temps réel .....                  | 24 |
| Préemption et commutation de contexte .....        | 28 |
| Extensions Posix .....                             | 29 |
| Définition de l’empreinte mémoire .....            | 30 |
| Les langages utilisés .....                        | 31 |
| <b>Tour d’horizon des systèmes existants</b> ..... | 32 |
| <b>En résumé</b> .....                             | 34 |

## CHAPITRE 2

|   |    |
|---|----|
| <b>Linux comme système embarqué</b> .....                     | 35 |
| <b>Contraintes des systèmes embarqués propriétaires</b> ..... | 35 |
| <b>Les avantages de l’Open Source</b> .....                   | 36 |
| <b>Et les quelques contraintes...</b> .....                   | 39 |
| <b>Pourquoi Linux est-il adapté à l’embarqué ?</b> .....      | 41 |
| Fiabilité .....   | 42 |
| Faible coût .....   | 43 |
| Performances .....  | 43 |
| Portabilité et adaptabilité .....                             | 43 |
| Ouverture .....   | 44 |
| <b>Dans quels cas Linux peut-il être inadapté ?</b> .....     | 45 |
| <b>Les systèmes embarqués basés sur Linux</b> .....           | 46 |
| MontaVista Linux .....  | 46 |
| BlueCat Linux .....   | 46 |
| $\mu$ Clinux .....  | 46 |
| RTLlinux .....  | 47 |
| RTAI .....  | 47 |
| ELDK .....  | 47 |
| PeeWee Linux .....  | 47 |
| <b>Quelques exemples de produits utilisant Linux</b> .....    | 49 |
| Les PDA .....   | 49 |
| Les consoles multimédias et tablettes Internet .....          | 50 |
| Les magnétoscopes numériques .....                            | 51 |
| Les routeurs .....  | 51 |
| La téléphonie .....   | 54 |
| Les caméras IP .....  | 54 |
| <b>En résumé</b> .....  | 55 |

## CHAPITRE 3

|   |    |
|---|----|
| <b>Choix matériels pour un système Linux embarqué</b> ..... | 57 |
| <b>Choix d'une architecture, PC ou non ?</b> .....          | 57 |
| <b>Choix du processeur : MMU ou non ?</b> .....             | 59 |
| Le concept du MMU .....                                     | 59 |
| µClinux: Linux sans MMU .....                               | 60 |
| Les processeurs compatibles x86 .....                       | 60 |
| Les autres processeurs .....                                | 61 |
| <b>La mémoire de masse</b> .....                            | 61 |
| <b>Les bus d'extension et de communication</b> .....        | 63 |
| Les bus d'extension ISA et PCI .....                        | 63 |
| Les ports séries .....                                      | 63 |
| Le bus USB .....  | 64 |
| Les autres bus : I2C, I2O, IEEE .....                       | 64 |
| <b>Les cartes DIL</b> .....                                 | 66 |
| <b>Les cartes uCsim</b> .....                               | 67 |
| <b>En résumé</b> .....                                      | 68 |

## DEUXIÈME PARTIE

|  |    |
|--|----|
| <b>Méthodologie de création d'un système Linux embarqué</b> .. | 69 |
|--|----|

## CHAPITRE 4

|   |    |
|---|----|
| <b>Structure de Linux</b> .....                 | 71 |
| <b>Le noyau Linux</b> .....                     | 73 |
| Structure globale du noyau .....                | 73 |
| Les modules chargeables du noyau .....          | 73 |
| Le système de fichier /proc .....               | 78 |
| Compilation du noyau .....                      | 79 |
| Configuration du démarrage .....                | 90 |
| <b>Répertoires et fichiers principaux</b> ..... | 93 |
| <b>En résumé</b> .....                          | 98 |

## CHAPITRE 5

|   |     |
|---|-----|
| <b>Construction du système</b> .....      | 99  |
| <b>Les distributions classiques</b> ..... | 99  |
| <b>Méthodologie générale</b> .....        | 102 |
| Le programme de démarrage .....           | 103 |

|  |     |
|--|-----|
| Le noyau .....   | 104 |
| Les fichiers de configuration (/etc) .....                         | 104 |
| Les pseudo-fichiers ou nœuds (/dev) .....                          | 104 |
| Les programmes essentiels (/sbin et /bin) .....                    | 104 |
| Les bibliothèques essentielles (/lib) .....                        | 105 |
| Les répertoires variables (/var) .....                             | 105 |
| <b>Création d'une partition dédiée</b> .....                       | 105 |
| <b>Création des répertoires</b> .....                              | 108 |
| <b>Le répertoire /extra</b> .....                                  | 109 |
| <b>Création des nœuds sur /dev</b> .....                           | 109 |
| <b>Remplissage de /bin /et /sbin</b> .....                         | 110 |
| <b>Création des bibliothèques sur /lib</b> .....                   | 110 |
| <b>Remplissage du répertoire /etc</b> .....                        | 112 |
| <b>Création d'un noyau adapté</b> .....                            | 114 |
| Le support des modules .....                                       | 115 |
| Le type de processeur .....  | 116 |
| Les périphériques en mode bloc .....                               | 116 |
| La configuration réseau .....                                      | 118 |
| Les systèmes de fichiers .....                                     | 118 |
| Les périphériques en mode caractère .....                          | 119 |
| Génération du noyau .....  | 120 |
| <b>Test du système</b> .....                                       | 121 |
| <b>Cas de l'utilisation de BusyBox</b> .....                       | 123 |
| <b>En résumé</b> .....   | 126 |
| CHAPITRE 6   |     |
| <b>Configuration du réseau</b> .....                               | 127 |
| <b>La commande ifconfig</b> .....                                  | 128 |
| <b>La commande route</b> .....                                     | 130 |
| <b>Premier test des interfaces en ICMP</b> .....                   | 131 |
| <b>Test de services TCP</b> .....                                  | 131 |
| <b>Scripts de configuration du réseau</b> .....                    | 134 |
| Initialisation de l'interface locale .....                         | 136 |
| Initialisation de l'interface Ethernet .....                       | 137 |
| <b>Calcul du nom du système et création du fichier hosts</b> ..... | 139 |
| <b>Mise en place de services réseau</b> .....                      | 141 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Connexion PPP</b> .....  | 142 |
| La validation du support PPP .....  | 142 |
| L'installation du programme pppd .....                                    | 143 |
| L'installation du programme chat .....                                    | 143 |
| La création du point d'entrée /dev/ppp .....                              | 143 |
| La mise en place du répertoire /etc/ppp .....                             | 144 |
| <b>En résumé</b> .....  | 146 |
| CHAPITRE 7  |     |
| <b>Optimisation et mise au point du système</b> .....                     | 147 |
| <b>Configuration du clavier</b> .....                                     | 147 |
| <b>Mise en place d'un système d'authentification</b> .....                | 148 |
| <b>Configuration des disques flash</b> .....                              | 151 |
| Utilisation du pilote M-Systems .....                                     | 152 |
| Utilisation du pilote MTD .....   | 155 |
| Les mémoires flash CFI (Common Flash Interface) .....                     | 158 |
| <b>Utilisation d'une clé USB</b> .....                                    | 160 |
| <b>Les différents types de systèmes de fichiers</b> .....                 | 162 |
| Ext2/ext3 .....   | 162 |
| ReiserFS .....  | 162 |
| JFFS2 .....   | 162 |
| CRAMFS .....  | 163 |
| <b>Utilisation des disques mémoire</b> .....                              | 164 |
| <b>Un exemple d'utilisation de CRAMFS et disque mémoire</b> .....         | 166 |
| <b>Mise au point des programmes</b> .....                                 | 169 |
| Utilisation de GDB .....  | 169 |
| Utilisation de strace .....   | 174 |
| Détection des problèmes de mémoire .....                                  | 175 |
| <b>En résumé</b> .....  | 177 |
| CHAPITRE 8  |     |
| <b>Autres techniques de démarrage : Loadlin, LinuxBIOS, RedBoot</b> ..... | 179 |
| <b>Un autre système de démarrage : LOADLIN</b> .....                      | 179 |
| <b>LinuxBIOS</b> .....  | 184 |
| <b>RedBoot</b> .....  | 184 |
| Présentation et principales commandes .....                               | 184 |
| Un exemple complet d'utilisation .....                                    | 185 |
| <b>En résumé</b> .....  | 192 |

## TROISIÈME PARTIE

|  |     |
|--|-----|
| <b>Mises en œuvre particulières</b> .....                    | 193 |
| CHAPITRE 9   |     |
| <b>Systèmes temps réel</b> .....                             | 195 |
| <b>Tests sur un noyau Linux standard</b> .....               | 195 |
| Horloge temps réel /dev/rtc .....                            | 195 |
| L'outil latencytest .....                                    | 196 |
| L'outil realfeel .....                                       | 196 |
| Résultats du test .....                                      | 197 |
| <b>Les différentes approches temps réel pour Linux</b> ..... | 198 |
| Modification de l'ordonnanceur .....                         | 198 |
| Ajout d'un véritable noyau temps réel .....                  | 199 |
| L'outil de test rt_realfeel .....                            | 201 |
| <b>Utilisation de RTLinux</b> .....                          | 201 |
| Installation de RTLinux/GPL .....                            | 202 |
| Introduction à l'API RTLinux .....                           | 205 |
| Mesure des temps de latence .....                            | 211 |
| <b>Utilisation de RTAI</b> .....                             | 211 |
| Installation de RTAI-24.1.x .....                            | 213 |
| Mesure des temps de latence .....                            | 215 |
| Installation de RTAI-3.1 .....                               | 216 |
| <b>Utilisation des patches du noyau</b> .....                | 218 |
| Le patch preempt-kernel-rml .....                            | 218 |
| Le patch low-latency .....                                   | 219 |
| Le patch rtsched .....                                       | 222 |
| <b>En résumé</b> .....                                       | 222 |
| CHAPITRE 10  |     |
| <b>Systèmes minimaux : <math>\mu</math>Clinux</b> .....      | 223 |
| <b>Présentation de <math>\mu</math>Clinux</b> .....          | 223 |
| <b>Quelques kits matériels disponibles</b> .....             | 224 |
| Le kit uCsimm .....  | 224 |
| Le kit uCdimmm .....   | 225 |
| Le kit ARM7TDMI .....  | 225 |
| Le projet Open Hardware .....                                | 226 |
| La carte d'évaluation ColdFire Motorola M5407C3 .....        | 227 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Mise en œuvre de <math>\mu</math>Clinux</b> .....        | 228 |
| <b>Exemple d'application <math>\mu</math>Clinux</b> .....   | 231 |
| <b>En résumé</b> .....                                      | 233 |
| CHAPITRE 11   |     |
| <b>Développement croisé</b> .....                           | 235 |
| <b>Principe de la compilation sous Linux</b> .....          | 235 |
| <b>L'outil ELDK</b> .....                                   | 237 |
| <b>L'outil CROSSTOOL</b> .....                              | 239 |
| <b>Utilisation de l'environnement CYGWIN</b> .....          | 243 |
| Installation de l'environnement CYGWIN .....                | 243 |
| Création de la chaîne de compilation croisée pour ARM ..... | 248 |
| <b>Exemple de compilation</b> .....                         | 249 |
| Compilation d'un noyau Linux ARM/AT91RM9200 .....           | 249 |
| Programme gdbserver .....                                   | 250 |
| Débogueur GDB croisé .....                                  | 250 |
| Débogueur GDB natif ARM .....                               | 250 |
| Bibliothèque NCURSES native ARM .....                       | 250 |
| <b>Résumé</b> .....   | 251 |
| CHAPITRE 12   |     |
| <b>Interfaces graphiques</b> .....                          | 253 |
| <b>Mode texte (console standard)</b> .....                  | 253 |
| <b>X Window System</b> .....                                | 254 |
| Une introduction à X .....                                  | 254 |
| Réduction du système X .....                                | 256 |
| Un serveur X minimal (Xkdrive) .....                        | 259 |
| <b>frame-buffer (console graphique)</b> .....               | 261 |
| Configuration du frame-buffer .....                         | 261 |
| <b>Les toolkits graphiques</b> .....                        | 264 |
| Qt/Embedded .....   | 264 |
| GTK-Embedded .....  | 266 |
| Microwindows et Nano-X .....                                | 268 |
| Une bibliothèque d'affichage LCD: LCDproc .....             | 271 |
| <b>Navigateurs et serveurs web</b> .....                    | 273 |
| <b>En résumé</b> .....                                      | 276 |

QUATRIÈME PARTIE

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Études de cas</b> .....                                 | 277 |
| CHAPITRE 13  |     |
| <b>Open Music Machine</b> .....                            | 279 |
| <b>Description du projet</b> .....                         | 279 |
| <b>Organisation du projet</b> .....                        | 281 |
| <b>Architecture globale</b> .....                          | 281 |
| <b>Utilisation des composants externes</b> .....           | 285 |
| <b>Détail des API</b> .....                                | 287 |
| Gestion des événements .....                               | 287 |
| Gestion de l'écran LCD .....                               | 288 |
| Arborescence des sources et compilation des modules .....  | 291 |
| <b>Description des différents modules</b> .....            | 292 |
| Module de gestion des fonctions (manager) .....            | 292 |
| Module de lecture des CD audio .....                       | 293 |
| Module de navigation/sélection de fichiers .....           | 295 |
| Modules de lecture MP3 .....                               | 297 |
| Module d'encodage MP3 .....                                | 298 |
| Modules client NAPSTER .....                               | 300 |
| <b>En résumé</b> .....                                     | 302 |
| CHAPITRE 14  |     |
| <b>Station Internet</b> .....                              | 303 |
| <b>Intégration du navigateur</b> .....                     | 304 |
| <b>Gestion du clavier et de la souris infrarouge</b> ..... | 308 |
| Traitement de la souris .....                              | 309 |
| Traitement du clavier .....                                | 310 |
| Système de configuration graphique .....                   | 312 |
| <b>En résumé</b> .....                                     | 319 |
| <b>Glossaire</b> .....                                     | 321 |
| <b>Glossaires en ligne</b> .....                           | 321 |
| <b>Glossaire local</b> .....                               | 321 |
| <b>Index</b> .....   | 327 |