

# Sommaire

## Avant-propos

## 1. Présentation de la technique des microcontrôleurs

1.1	Domaines d'application des microcontrôleurs .....	4
1.2	Qu'est-ce qu'un microcontrôleur ? .....	5
1.2.1	Microcontrôleur et mémoire .....	6
1.2.2	Architecture RISC .....	7
1.3	LE type de microcontrôleur adéquat .....	8
1.3.1	Étendue du jeu d'instructions .....	9
1.3.2	Vitesse .....	9
1.3.3	Étendue des périphériques intégrés .....	10
1.3.4	Prix et disponibilité .....	11
1.3.5	Boîtiers .....	12
1.3.6	Taille des mémoires .....	13
1.3.7	Qualité de la documentation .....	13
1.3.8	Acceptation par les autres utilisateurs .....	14
1.3.9	Disponibilité des outils de développement .....	14
1.4	Aide à la décision Atmel AVR .....	15

## 2. Environnement de développement

2.1	Alimentation .....	18
2.1.1	Alimentation standard .....	18
2.1.2	Alimentation en voiture .....	20
2.1.3	Détection de creux de tension ( <i>brownout</i> ) .....	21
2.2	Interface de programmation .....	22
2.2.1	Connexions ISP .....	24
2.2.2	Programmeur minimal .....	25
2.2.3	Programmeur compatible STK200 .....	25
2.2.4	Programmeur sériel .....	27
2.3	Compilateur C WinAVR .....	27
2.3.1	Installation de WinAVR .....	28
2.3.2	L'éditeur <i>Programmer's Notepad</i> .....	29

2.4	Logiciel de programmation . . . . .	31
2.4.1	<i>PonyProg</i> . . . . .	31
2.4.2	<i>yaap</i> . . . . .	32
2.4.3	<i>avrdude</i> . . . . .	33
2.4.4	<i>AVR8 Burn-O-Mat</i> . . . . .	34
2.5	Programmation et débogage par JTAG . . . . .	35
2.5.1	Interface JTAG . . . . .	36
2.5.2	<i>AVR Studio</i> . . . . .	39
2.5.3	Programmation de l'interface JTAG . . . . .	39
2.5.4	Projet de test JTAG . . . . .	41

### **3. Premiers pas avec le microcontrôleur**

3.1	Microcontrôleur minimaliste . . . . .	47
3.1.1	Digression : condensateur de découplage . . . . .	49
3.1.2	Digression : générateur d'horloge . . . . .	50
3.2	Compilation du premier programme . . . . .	54
3.2.1	Digression : compilateur et <i>Makefile</i> . . . . .	55
3.3	Programmation du microcontrôleur . . . . .	59
3.3.1	<i>yaap</i> . . . . .	59
3.3.2	<i>AVR8 Burn-O-Mat</i> . . . . .	60
3.3.3	Appeler <i>avrdude</i> à partir de l'éditeur . . . . .	61
3.4	Configuration de l'AVR par les bits fusibles et les bits de sécurité . . . . .	63
3.4.1	Les bits fusibles les plus importants . . . . .	64
3.4.2	Plan d'urgence des bits fusibles . . . . .	70
3.4.3	Protection du contenu du processeur avec les bits de verrouillage . . . . .	71

### **4. La carte Mini-Mega**

4.1	Construction de la platine Mini-Mega . . . . .	75
4.1.1	Simple et polyvalent . . . . .	75
4.1.2	Tout le monde à bord . . . . .	75
4.2	Programmation <i>In Situ</i> . . . . .	79
4.2.1	Bits fusibles standard . . . . .	81
4.2.2	Amélioration de la lisibilité et de l'adaptation du code . . . . .	81

## 5. Bases des entrées/sorties

5.1	Apprendre les bibliothèques standard et piloter des LED. . . . .	83
5.1.1	Connexion des LED au microcontrôleur. . . . .	84
5.1.2	Constantes des registres dans la bibliothèque standard. . . . .	85
5.1.3	Un deuxième regard sur la bibliothèque <i>AVR-libc</i> . . . . .	86
5.1.4	Retarder l'exécution d'un programme. . . . .	87
5.1.5	Types de variables entières. . . . .	88
5.1.6	Manipulation des bits et sortie de données. . . . .	89
5.2	Afficheurs à LED à 7 segments et alphanumériques. . . . .	96
5.2.1	Anode ou cathode commune. . . . .	96
5.2.2	Pilotage des afficheurs à 7 segments. . . . .	97
5.2.3	Afficheurs alphanumériques à LED. . . . .	99
5.3	Pilotage de fortes charges. . . . .	103
5.3.1	Transistor pour petites charges. . . . .	103
5.3.2	MOSFET de puissance pour fortes charges. . . . .	104
5.3.3	Antique, mais toujours pratique : le relais. . . . .	105
5.3.4	Séparation galvanique par opto-coupleur. . . . .	107
5.4	Entrée des signaux. . . . .	108
5.4.1	Polarisation haute ou basse. . . . .	108
5.4.2	Scrutation dans le programme de l'état des entrées. . . . .	109
5.4.3	Anti-rebonds des touches. . . . .	111
5.5	Économie de ressources avec le multiplexage. . . . .	112
5.5.1	Multiplexage d'afficheurs à 7 segments. . . . .	112
5.5.2	Décomposition des nombres. . . . .	115
5.5.3	Multiplexage avec un temporisateur (timer). . . . .	116
5.5.4	Digression : registre à décalage. . . . .	118
5.5.5	Matrice 5×7 avec registre à décalage. . . . .	119
5.5.6	Affichage de texte sur la matrice de points. . . . .	123

## 6. Écrans à cristaux liquides

6.1	Compatible HD44780. . . . .	127
6.1.1	Raccordement électrique des LCD. . . . .	128
6.1.2	Carte de la mémoire. . . . .	129
6.1.3	Jeu d'instructions. . . . .	130
6.2	Utilisation de l'afficheur à cristaux liquides. . . . .	131
6.2.1	Initialisation en mode 4 bits. . . . .	131
6.2.2	Configuration de l'affichage. . . . .	132

6.2.3	Affichage de caractères . . . . .	133
6.2.4	Affichage de nombres . . . . .	134
6.3	Définition de caractères spéciaux . . . . .	137
6.3.1	Définition de caractère . . . . .	137
6.3.2	Chiffres géants . . . . .	138
<b>7.</b>	<b>Transfert sériel des données</b>	
7.1	Interface RS232 . . . . .	139
7.2	Registre de configuration de l'USART . . . . .	141
7.2.1	UART logiciel . . . . .	142
7.3	Émission et réception de données . . . . .	143
7.3.1	Poignées de mains pour une meilleure compréhension . . . . .	144
<b>8.</b>	<b>Entrées et sorties analogiques</b>	
8.1	Résolution et circuit d'entrée du CA/N . . . . .	145
8.1.1	Diviseur de tension . . . . .	145
8.1.2	Calcul des valeurs . . . . .	146
8.1.3	Tension de référence . . . . .	147
8.2	Effectuer la conversion A/N . . . . .	147
8.2.1	Configuration des CA/N . . . . .	147
8.2.2	Trucs pratiques . . . . .	148
8.3	Mesure de température . . . . .	149
8.4	Générateur de nombres aléatoires . . . . .	150
8.5	Convertisseur numérique-analogique . . . . .	151
8.5.1	Générateur de fonctions numérique . . . . .	154
<b>9.</b>	<b>Synchronisation du programme par interruptions</b>	
9.1	Sources d'interruptions . . . . .	158
9.1.1	Traitement des interruptions . . . . .	159
9.1.2	Activer les interruptions . . . . .	160
9.2	Traitement des demandes d'interruption externes . . . . .	161
9.2.1	Digression . . . . .	162
9.2.2	Accès atomique aux données . . . . .	164
9.3	Chien de garde contre les erreurs de programme . . . . .	165
9.3.1	Utiliser le chien de garde . . . . .	166

## 10. Compteurs-temporisateurs

10.1	Fonctionnement d'un temporisateur . . . . .	169
10.1.1	Format et interruptions du compteur . . . . .	170
10.1.2	Sources d'horloge et prédiviseurs . . . . .	170
10.2	Les temporisateurs de l'ATmega16. . . . .	171
10.2.1	Débordement du compteur à 8 bits <i>Timer0</i> . . . . .	171
10.2.2	<i>Timer0</i> avec pré-chargement . . . . .	172
10.2.3	<i>Timer0</i> avec comparaison . . . . .	173
10.2.4	Mode CTC du <i>Timer0</i> . . . . .	174
10.2.5	<i>Timer0</i> en générateur de signal . . . . .	175
10.2.6	Comptage d'impulsions externes avec le <i>Timer0</i> . . . . .	176
10.2.7	Présentation rapide : <i>Timer2</i> à 8 bits . . . . .	177
10.2.8	Chronomètre avec le <i>Timer1</i> à 16 bits. . . . .	179
10.3	Modulation de largeur d'impulsion . . . . .	182
10.3.1	MLI par logiciel. . . . .	182
10.3.2	MLI rapide avec le <i>Timer0</i> . . . . .	185
10.3.3	<i>Timer1</i> : MLI rapide à fréquence arbitraire. . . . .	185

## 11. Accès aux mémoires

11.1	Accès à la mémoire de programme (flash) . . . . .	189
11.1.1	Stockage de chaîne de caractères en mémoire flash . . . . .	191
11.2	Accès à l'EEPROM. . . . .	192
11.2.1	Fichier image de l'EEPROM. . . . .	194
11.2.2	Accès aux nombres en virgule flottante dans les zones de mémoire. . . . .	195

## 12. Bus sériels I2C (TWI) et SPI

12.1	Interface à deux lignes (TWI) I2C . . . . .	197
12.1.1	Principe de fonctionnement du bus I2C. . . . .	198
12.1.2	Adressage des esclaves . . . . .	199
12.1.3	Protocole du bus I2C . . . . .	199
12.2	Pilotage d'EEPROM par TWI. . . . .	200
12.2.1	Types de mémoire standard 24Cxx . . . . .	200
12.2.2	TWI sur la platine Mini-Mega. . . . .	204
12.3	<i>Serial Peripheral Interface</i> (SPI) . . . . .	209
12.3.1	SPI entre ATmega16 et ATmega8. . . . .	210

## 13. Exemples de projets

13.1	Horloge pilotée par les signaux radio DCF77 . . . . .	215
13.1.1	Structure des signaux horaires . . . . .	215
13.1.2	Forme des signaux horaires . . . . .	217
13.1.3	Module récepteur . . . . .	218
13.1.4	Exemple d'application . . . . .	218
13.2	<i>Global Positioning System</i> . . . . .	219
13.2.1	Récepteur GPS . . . . .	219
13.2.2	Raccordement du récepteur GPS . . . . .	220
13.2.3	Décodage des données NMEA . . . . .	221
13.3	Utilisation d'un clavier de PC . . . . .	223
13.3.1	Protocole du clavier . . . . .	223
13.3.2	Exemple d'application du clavier . . . . .	224
13.4	Télétransmission de données et télécommande par téléphone portable . . . . .	224
13.4.1	Télécommande gratuite . . . . .	225
13.4.2	Connexion de données avec le téléphone mobile . . . . .	226
13.4.3	Jeu de commandes AT-GSM . . . . .	226
13.4.4	Envoi de messages par PDU . . . . .	227
	<b>Index</b> . . . . .	231