

**Principe de fonctionnement
des périphériques des ordinateurs
en vue de la programmation**

Patrick Cégielski

Novembre 2018

Pour Irène et Marie

Legal Notice

Copyright © 2018 Patrick Cégielski
Université Paris XII - IUT Sénart-Fontainebleau
Route forestière Hurtaut
F-77300 Fontainebleau
cegielski@u-pec.fr

Table des matières

Préface	xv
I Programmation avec les macro-instructions du BIOS	1
1 Programmer avec le BIOS	3
1.1 Étude générale	4
1.1.1 Pseudo-instructions d'un microprocesseur	4
1.1.2 Notion de BIOS	4
1.1.3 Liste des interruptions du BIOS d'IBM	5
1.2 Le clavier	6
1.2.1 Principe d'implémentation du clavier	6
1.2.2 L'interruption 16h	7
1.3 L'affichage : l'interruption 10h	9
1.3.1 Notions sur l'affichage	9
1.3.2 Mode texte	11
1.3.3 Utilisation des attributs	19
1.3.4 Mode graphique	23
1.3.5 Court-circuiter le BIOS	28
1.4 Les disques : les interruptions 0Eh et 13h	32
1.4.1 Organisation des disques	32
1.4.2 Lecture et écriture logique des secteurs	34
1.5 Taille de la mémoire : l'interruption 12h	38
1.6 Le temps : les interruptions 08h et 1Ah	39
1.7 Les ports séries et parallèles	39
1.8 L'impression : interruption 17h	39
1.9 Le système	39
1.10 Bibliographie	40
II Conception des macro-instructions du BIOS	41
2 Architecture du PC	43
2.1 Architecture de l'IBM PC	44
2.2 Le microprocesseur	47
2.2.1 Présentation matérielle du microprocesseur	47
2.2.2 Détail du brochage du microprocesseur 8088	49
2.2.3 Caractéristiques électriques	52

2.3	Les bus	53
2.3.1	Caractéristiques électriques des bus	53
2.3.2	Bus du 8088 en mode minimum	58
2.3.3	Contrôleur de bus 8288	60
2.3.4	Cas de l'IBM PC	63
2.4	Commentaire du BIOS : vérifications au démarrage	69
2.5	La carte mère	70
2.6	Bibliographie	71
3	La mémoire de l'IBM PC	73
3.1	Les circuits intégrés de mémoire	74
3.1.1	Les ROM	74
3.1.2	Technologies RAM	79
3.1.3	Caractéristiques d'un circuit intégré de mémoire	82
3.2	Interfaçage de la mémoire	83
3.2.1	Décodage de l'adresse	83
3.3	Cas de l'IBM PC	85
3.3.1	Organisation générale de la mémoire en trois secteurs	85
3.4	Commentaire du BIOS : test de la mémoire	91
3.4.1	Vérification de la mémoire ROM	91
3.4.2	Zone de la mémoire vive réservée au BIOS	93
3.4.3	Zone de communication du BIOS	94
3.4.4	Test de la RAM	105
4	Entrées-sorties	107
4.1	Port d'entrée ou de sortie simple	108
4.1.1	Principe des entrées-sorties et tamponnage	108
4.1.2	Un port d'entrée simple : lecture d'un commutateur DIP	110
4.1.3	Un port de sortie simple : déclenchement d'un relais	113
4.1.4	Technique de l'interrogation	115
4.1.5	Technique de la poignée de main	116
4.2	Entrées-sorties avec interface programmable	117
4.2.1	Description du PPI 8255	117
4.2.2	Interfaçage du 8255	119
4.2.3	Programmation du PPI 8255	120
4.2.4	Un exemple en mode 0 : un clavier élémentaire	122
4.3	Cas de l'IBM-PC	125
4.3.1	Affectation des ports	125
4.3.2	Utilisation du 8255	126
4.4	Commentaire du BIOS : initialisation du PPI	129
5	Pilotage par interruption	131
5.1	Rappels sur l'interruption du microprocesseur	132
5.1.1	Principe de l'interruption du microprocesseur	132
5.1.2	Cas du 8086	132
5.2	Contrôleur d'interruptions programmable	136
5.2.1	Brochage	136
5.2.2	Fonctionnement du PIC	137
5.2.3	Modes opératoires du PIC	138
5.2.4	Programmation des registres de contrôle d'initialisation du PIC	139

5.2.5	Programmation des registres de contrôle des opérations du PIC	142
5.2.6	Interfaçage	146
5.3	Cas de l'IBM-PC	147
5.4	Commentaire du BIOS : initialisation du PIC	147
6	Le clavier	149
6.1	Principe du clavier	150
6.1.1	Clavier simple	150
6.1.2	Circuit intégré de détection	154
6.2	Aspect matériel	155
6.2.1	Disposition des touches	155
6.2.2	Clavier intelligent	157
6.2.3	Câble	158
6.3	Aspect logiciel	159
6.3.1	Les codes des touches	159
6.3.2	Zone de communication BIOS du clavier	164
6.3.3	Le contrôleur de clavier	170
6.3.4	Le registre de statut	171
6.4	Commentaire du BIOS : ISR de l'interruption 16h	173
6.5	Commentaire du BIOS : ISR de l'interruption 9	175
6.5.1	Principe	175
6.5.2	Mise dans le tampon	176
6.5.3	Cas où le tampon est plein	180
6.5.4	Cas d'une touche de décalage	181
6.5.5	Cas de la touche de pause	184
6.5.6	Cas des combinaisons de touches avec 'Alt'	185
6.5.7	Cas des combinaisons de touches avec 'Ctrl'	189
6.5.8	Cas de l'appui sur une touche avec ou sans majuscule	193
6.6	Évolution du clavier	197
6.6.1	Disposition des touches	197
6.6.2	Câble	199
6.6.3	Programmation du clavier	200
7	L'affichage en mode texte	203
7.1	Principe physique d'un moniteur	204
7.1.1	Tube cathodique	204
7.1.2	Principe d'une carte graphique	207
7.2	Le contrôleur graphique Motorola 6845	208
7.2.1	Génération des caractères en mode texte	208
7.2.2	Description du brochage du MC6845	210
7.2.3	Les registres internes du 6845	212
7.3	La carte graphique MDA	215
7.3.1	Caractères affichés	216
7.3.2	Structure de la mémoire graphique	218
7.3.3	La table des caractères	219
7.3.4	Ports associés	220
7.3.5	Initialisation du contrôleur graphique	221
7.4	La carte graphique CGA	222
7.4.1	Caractères affichés	222
7.4.2	Affichage point à point	223

7.4.3	Structure de la mémoire graphique	223
7.4.4	La table des caractères	223
7.4.5	Ports associés	224
7.4.6	Initialisation du contrôleur graphique	226
7.5	Commentaire du BIOS : l'ISR de l'interruption 10h	227
7.5.1	Zone de communication vidéo du BIOS	227
7.5.2	Mémoire graphique	227
7.5.3	Détermination de la fonction	228
7.5.4	Détermination de la position d'un caractère	230
7.5.5	Affichage d'un caractère à la position du curseur	231
7.5.6	Affichage d'un caractère à la position du curseur sans changement d'attribut	233
7.5.7	Spécification du mode graphique	234
7.5.8	Spécification de la forme du curseur	239
7.5.9	Spécification de la position du curseur	240
7.5.10	Spécification de la page active	241
7.5.11	Consultation des données du curseur	242
7.5.12	Spécification de la palette de couleurs pour le mode graphique	243
7.5.13	Consultation du mode graphique	244
7.5.14	Défilement vers le haut	245
7.5.15	Défilement vers le bas	249
7.5.16	Lecture du caractère affiché à la position du curseur	251
7.6	Historique	252
7.6.1	Tube cathodique	252
7.7	Bibliographie	255
8	L'horloge du PC	257
8.1	Le contrôleur d'horloge 8284	258
8.1.1	Brochage du 8284	258
8.1.2	Schéma du circuit	260
8.2	Le temporisateur 8253	261
8.2.1	Brochage du 8253	261
8.2.2	Initialisation du 8253	263
8.2.3	Cas de l'IBM-PC	265
8.3	Commentaire du BIOS : initialisation du 8253	268
8.3.1	Vérification du temporisateur 1	268
8.3.2	Vérification de la vitesse du temporisateur	269
9	L'accès direct à la mémoire	271
9.1	Partage des bus	272
9.2	Le 8237	273
9.2.1	Canaux	273
9.2.2	Le brochage	273
9.2.3	Accès aux registres internes	275
9.2.4	Transfert	277
9.2.5	Description des registres internes	278
9.3	Cas de l'IBM PC/XT	284
9.3.1	Interfaçage	284
9.3.2	Registres de page	286
9.3.3	Taux de transfert	287
9.4	Commentaire du BIOS : initialisation du DMA	288

10 Le lecteur de disquette	291
10.1 Description matérielle d'une disquette	292
10.1.1 Les principes physiques de l'enregistrement magnétique	293
10.1.2 Disquette	295
10.1.3 Lecteur de disquette	296
10.1.4 Modèle de répartition des données sur une disquette	297
10.1.5 Codage d'un bit sur une disquette	299
10.1.6 Codage des secteurs	301
10.2 Contrôleur de lecteur de disquette	303
10.2.1 Brochage du PD765	303
10.2.2 Les registres du FDC	307
10.2.3 Le jeu de commandes du FDC	309
10.3 Cas de l'IBM PC	321
10.4 Commentaire du BIOS : lecteur de disquette	321
10.4.1 Zone de communication du BIOS concernant le lecteur de disquette	321
10.4.2 Choix de la fonction	322
10.4.3 Réinitialisation	327
10.4.4 Statut	332
10.4.5 Lecture	333
10.4.6 Vérification	340
10.4.7 Formatage	340
10.4.8 Écriture	341
10.5 Historique	341
10.6 Bibliographie	341
III Le BIOS et le démarrage de l'ordinateur	343
11 Le BIOS et le démarrage de l'ordinateur	345
11.1 Démarrage d'un ordinateur et ROM BIOS	346
11.1.1 Rappel sur le démarrage d'un microprocesseur	346
11.1.2 Nécessité de la ROM BIOS	346
11.1.3 Que placer dans la ROM BIOS?	347
11.1.4 Contenu de la ROM BIOS	348
11.1.5 Listing du BIOS	349
11.1.6 Version du BIOS	349
11.1.7 Numéro de série et copyright	350
11.2 Les tests au démarrage (POST)	351
11.2.1 Grandes étapes	351
11.2.2 Test du microprocesseur	351
11.2.3 Initialisations temporaires	352
11.2.4 Initialisation du PPI	352
11.2.5 Vérification de la ROM	352
11.2.6 Initialisation du DMA	352
11.2.7 Vérification de la RAM	353
11.2.8 Initialisation de la pile temporaire	356
11.2.9 Initialisation du contrôleur des interruptions matérielles	356
11.2.10 Affectation temporaire des vecteurs d'interruption	357
11.2.11 Détermination de la configuration	361
11.2.12 Test du clavier	362

11.2.13	Initialisation de l'affichage	367
11.2.14	Vérification et exécution des ROM optionnelles	370
11.2.15	Test du contrôleur d'interruption	378
11.2.16	Vérification du temporisateur	379
11.2.17	Test du clavier	380
11.2.18	Affectation de la table des vecteurs d'interruptions matérielles	381
11.2.19	Test des cartes d'extension	382
11.2.20	Test de la mémoire vive additionnelle	384
11.2.21	Test de la mémoire ROM optionnelle	387
11.2.22	Test du lecteur de disquette	388
11.2.23	Initialisation du tampon du clavier	389
11.2.24	Activation de l'imprimante	390
11.3	L'interruption 19h : chargement du système d'exploitation	393

Table des figures

2.1	Carte mère du PC	44
2.2	Boîtier du 8088	47
2.3	Broches du 8088	48
2.4	Rôle de la broche ALE du 8088	50
2.5	Effets du phénomène de réflexion	56
2.6	Terminateur actif	57
2.7	Signaux de contrôle du 8088	58
2.8	Réalisation des signaux de contrôle du 8088	59
2.9	Réalisation des bus avec le 8088 en mode minimum	59
2.10	Brochage du 8288	60
2.11	Les bus sur l'IBM PC	63
2.12	La bascule 74LS373	64
2.13	Le tampon bidirectionnel 74LS245	65
2.14	Engendrement du signal AEN	66
2.15	Diagramme temporel du 8088	67
2.16	Le tampon octal 74LS244	68
3.1	ROM programmable par masque	74
3.2	PROM à un coup	75
3.3	EPROM	76
3.4	Programmation des EPROM	76
3.5	RAM statique	79
3.6	RAM dynamique	80
3.7	Principe du décodage d'adresse	83
3.8	Le 74LS138 utilisé pour le décodage d'adresse	84
3.9	Sélection des adresses de ROM pour l'IBM PC	86
3.10	Sélection des adresses de DRAM pour l'IBM PC	88
3.11	Connexion de la DRAM sur l'IBM PC	89
4.1	Conception d'un port sortant	108
4.2	Conception d'un port entrant	109
4.3	Commutateurs DIP	110
4.4	Connexion des DIP	111
4.5	Connexion de huit bascules au microprocesseur	113
4.6	Connexion à un relais	114
4.7	Interface de périphérique programmable 8255	117
4.8	Liaison du périphérique programmable 8255 avec le 8088	119
4.9	L'octet de contrôle du périphérique programmable 8255	120

4.10	Interfaçage d'un clavier au périphérique programmable 8255	122
4.11	Algorithme de gestion du clavier	124
4.12	Décodage de l'adresse de port	125
4.13	Connexion du 8255 sur l'IBM PC	126
5.1	Prise en charge des interruptions	133
5.2	Interfaçage des interruptions (1)	134
5.3	Interfaçage des interruptions (2)	134
5.4	Le PIC 8259	136
6.1	Clavier simple	150
6.2	Clavier PC/XT	155
6.3	Disposition des touches du clavier PC/XT	155
6.4	Matrice d'un clavier	157
6.5	Câble du clavier du PC	158
6.6	Numérotation des touches du clavier PC/XT	160
6.7	Contrôleur du clavier	170
6.8	Clavier PC/AT	197
6.9	Disposition des touches du clavier PC/AT	197
6.10	Les quatre parties d'un clavier MF II	198
6.11	Codes de recherche du clavier PC/AT	200
6.12	Codes de recherche du clavier PC/MF II	200
7.1	Principe du tube cathodique	204
7.2	Principe de l'entrelacement	205
7.3	Principe d'une carte graphique	207
7.4	Numérotation des lignes et colonnes de l'écran d'un moniteur	208
7.5	Aspect du contrôleur graphique Motorola MC6845	210
7.6	Brochage du contrôleur graphique Motorola MC6845	211
7.7	Affichage du caractère 'O'	213
7.8	Caractères affichés (1)	215
7.9	Caractères affichés (2)	216
7.10	Structure d'un élément de la mémoire graphique	217
7.11	Motif d'un caractère	219
7.12	Annonce de l'invention de l'oscilloscope en février 1897	253
7.13	Le tube de Braun est un tube de Crookes ayant un écran de mica interne recouvert d'une peinture phosphorescente	254
8.1	Brochage du 8284	258
8.2	Équivalent du 8284	260
8.3	Brochage du 8253	261
8.4	Sélection du port du 8253	265
8.5	Utilisation du 8253	265
9.1	DMA et bus	272
9.2	Le brochage du DMAC 8237	273
9.3	Interfaçage du 8237	276
9.4	Interfaçage du DMAC 8237 dans le cas de l'IBM-PC	284
9.5	Interfaçage du DMAC 8237 dans le cas de l'IBM-PC (2)	285
9.6	Le 74LS670	286

9.7	Décodage des adresses pour le DMA	286
10.1	Disquettes de 8, 5.25 et 3.5 pouces	292
10.2	Le phénomène d'hystérésis	293
10.3	Description des disquettes de 5,25 et de 3,5 pouces	295
10.4	Principe d'un lecteur de disquette	296
10.5	Modèle de répartition des données sur une disquette	297
10.6	Codage d'un bit sur une disquette	299
10.7	Codage d'un secteur sur une disquette	301
10.8	Brochage du PD765 de NEC	303

Préface

Nous avons vu comment programmer en langage machine, en utilisant les instructions du microprocesseur (plus précisément du i8088). Nous avons obtenu de vrais programmes en utilisant **debug**, pour vérifier les changements intervenus en mémoire vive (à titre d'affichage) ou pour placer en mémoire vive les paramètres nécessaires au déroulement du programme (à titre de saisie).

On aimerait, bien sûr, effectuer de vraies saisies au clavier et un vrai affichage à l'écran, et même conserver des données sur le disque dur.

La saisie, l'affichage et la conservation des données sur le disque dur (ou toute autre mémoire de masse) ne sont pas natifs sur les microprocesseurs. Seule l'entrée d'un seul octet depuis un périphérique et l'écriture d'un seul octet sur celui-ci sont prévues, comme nous l'avons vu, sous la forme très des instructions **in** et **out**.

Il faut étudier la constitution des périphériques pour aller plus loin.

De façon générale, on peut modéliser un périphérique comme étant constitué de deux parties : une partie dite *matérielle* et un **contrôleur**. Le contrôleur est une partie électronique comportant des **broches** reliées, directement ou le plus souvent indirectement, à des broches du microprocesseur.

La liaison est donc, le plus souvent, indirecte en utilisant quelques circuits électroniques, intégrés ou non, d'une complexité bien moindre que celle d'un microprocesseur, et donc d'un coût également bien moindre.

On appelle **coupleurs** ces circuits intégrés auxiliaires. De façon générale, un *coupleur* est un organe destiné à assurer une liaison entre deux systèmes. Il existe ainsi, par exemple, des coupleurs mécaniques, permettant la transmission d'un mouvement d'un organe d'une machine à un autre.

Les communications entre le contrôleur d'un périphérique, ou d'un coupleur, et le microprocesseur s'effectue en envoyant ou en lisant des données dans des **registres internes du périphérique** (ou du coupleur), l'analogue des registres du microprocesseur.

Le concepteur d'un ordinateur a besoin d'en savoir beaucoup sur chacun de ces périphériques et de ces coupleurs (la tension électrique et l'intensité permises, etc.). Le programmeur n'a, lui, qu'à connaître l'**interfaçage** du périphérique au microprocesseur (essentiellement pour connaître les adresses de port utilisées) et les fonctions des registres internes du périphérique ou des coupleurs.

L'objet de ce livre est d'en montrer, dans la seconde partie, quelques exemples, permettant en particulier la saisie au clavier, l'affichage à l'écran et la conservation des données sur le disque dur.

Comme nous nous en apercevrons, il serait difficile de demander à tous les programmeurs d'applications de traiter ainsi directement les entrées-sorties sur les périphériques, même les plus courants. Ce serait de plus redondant dans chaque équipe de développement. Il vaut mieux qu'une équipe dédiée de programmeurs conçoive soigneusement une *bibliothèque* de sous-programmes, mise à la disposition de tous les programmeurs.

Nous avons vu comment concevoir et utiliser un sous-programme en langage machine. Pour une raison d'efficacité, on préfère en général utiliser des *interruptions logicielles* pour implémenter une telle bibliothèque de sous-programmes d'entrées-sorties.

Rappelons qu'on fait appel à une interruption logicielle par l'instruction (écrite ici en langage symbolique) :

int n

la routine de service de l'interruption spécifiée se trouvant à une adresse mémoire donnée par un emplacement mémoire spécifié par les concepteurs du microprocesseur, dépendant du numéro *n* de l'interruption. Les paramètres sont passés en utilisant, autant que faire se peut, les registres du microprocesseur et, si c'est insuffisant, des emplacements de mémoire vive.

Les routines de service peuvent être placées en mémoire ROM (mais il est alors difficile de les changer, et donc de les faire évoluer) ou en mémoire RAM (mais il faut alors les charger à chaque démarrage de l'ordinateur, ou tout au moins lorsqu'on en a besoin).

Traditionnellement les routines de service liées à la saisie au clavier, à l'affichage à l'écran et à la lecture et l'écriture d'un secteur de disque sont implémentées par des interruptions logicielles placées en mémoire ROM, en constituant ce qui est appelé le **BIOS** (*Basic Input Output System*).