

D

dunod université

681

informatique

g. bazerque, c. trullen

**informatique
générale**

dunod

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

INFORMATIQUE GÉNÉRALE

Concepts de base pour la programmation
des calculatrices numériques

Maîtrise d'informatique

PAR

Georges BAZERQUE

Ingénieur informaticien E. N. S. E. E. H. T.

Claude TRULLEN

Ingénieur civil de l'Aéronautique



DUNOD
PARIS
1971

COLLECTION DUNOD UNIVERSITÉ

Maîtrise d'informatique

- J. ARSAC, *Les systèmes de conduite des ordinateurs* (2^e édition).
- G. BAZERQUE et C. TRULLEN, *Informatique générale*.
- C. BERTHET, *Le langage de programmation PL/I*.
- G. G. BOULAYE, *Logique et organes des calculatrices numériques*.
- G. G. BOULAYE, *La microprogrammation*.
- R. EHLMANN, *Les langages de simulation*.
- C.-V. FEUVRIER, *La simulation des systèmes*.
- R. LAFITTE, *Initiation au langage Algol*.

Avant-propos

Cet ouvrage est issu d'un cours de G. BAZERQUE enseigné dès 1967 aux élèves ingénieurs de l'E.N.I.C.A. (Ecole Nationale d'Ingénieurs de Constructions Aéronautiques), de l'E.N.S.E.I.H.T. (Ecole Nationale Supérieure d'Electronique d'Informatique et d'Hydraulique de Toulouse), de l'E.N.A.C. (Ecole Nationale d'Aviation Civile), et depuis peu à la Faculté de Droit et de Sciences Economiques de Toulouse.

Il a été remanié et complété pour satisfaire à tous ces étudiants. Il comporte :

- au chapitre 1, des notions fondamentales sur les calculatrices numériques,
- au chapitre 2, des notions fondamentales en programmation,
- au chapitre 3, l'organisation d'un travail pour le traiter à l'aide d'une calculatrice,
- au chapitre 4, la programmation en langage machine.

Ce dernier chapitre utilise une machine fictive conçue par C. TRULLEN et réalisée par simulation au Laboratoire d'Ingénieurs Programmeurs de l'E.N.I.C.A. sur une machine IBM 360.

Ce texte fournit l'ensemble des notions de bases pour la programmation des calculatrices numériques. La connaissance des concepts énoncés est nécessaire pour la poursuite d'études approfondies dans le domaine du software.

Nous l'avons publié en espérant qu'il intéressera un public plus large que celui pour lequel il a été prévu.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1

NOTIONS FONDAMENTALES SUR LES CALCULATRICES NUMÉRIQUES	1
1. Notions de calculatrices	1
1.1 Les calculatrices analogiques	1
1.2 Les calculatrices digitales	2
2. Constituants des calculatrices digitales	7
2.1 Inconvénient du calcul à la main	7
2.2 Venue des calculatrices	8
3. « Hardware » d'une calculatrice	11
3.0 Définition des mots « hardware » et « software »	11
3.1 Mémoires	12
3.1.1 Définition	12
3.1.2 Nomenclature	12
3.1.3 Description sommaire des différents types de mémoires rencontrés	13
1. Le papier	13
2. La carte perforée	13
3. Le ruban perforé	30
4. Les mémoires à relais	33
5. Les mémoires à tubes	33
5.1 Tube électronique	33
5.2 Bascule électronique : « Flip-flop »	34
6. Les mémoires à transistors	36
6.1 Transistor	36
6.2 Bascule à transistor (d'Eccles-Jordan)	39
7. Les bandes magnétiques	39
7.1 Enregistrements sur bande	40
7.2 Recherche d'un enregistrement sur bande	42
8. Les mémoires à feuillets magnétiques	42
9. Les tambours magnétiques	43
10. Les disques magnétiques	45
11. Les tores magnétiques	46
3.1.4 Hiérarchisation des mémoires	48
1. Caractérisation des mémoires	48
1.1 Capacité	49

1.2 Temps d'accès	50
1.2.1 Temps d'accès	50
1.2.2 Cycle Majeur	50
1.2.3 Temps de sélection « θ_1 »	50
1.2.4 Temps de consultation (ou cycle mineur : « θ_2 »)	51
1.3 Modes d'accès	51
1.3.1 L'accès séquentiel	51
1.3.2 L'accès direct	52
2. Tableau de hiérachisation des mémoires	52
3. Mémoires de Masse (ou mémoires mortes)	53
3.2 <i>Organes d'Accès</i>	53
3.2.1 <i>Organes d'Entrée</i>	53
3.2.2 <i>Organes de Sortie</i>	54
1. Le lecteur/perforateur de cartes	54
2. Les consoles de visualisation (ou Display)	54
3. Les machines à écrire	55
4. Les imprimantes	55
4.1 Imprimantes à barres verticales	55
4.2 Imprimantes à barre horizontale	55
4.3 Imprimantes à chaîne	55
4.4 Imprimantes à tambours	56
3.2.3 <i>Les périphériques indépendants</i>	56
1. Les perforatrices de cartes	56
2. Les vérificatrices de cartes	56
3. Les reproductrices de cartes	56
4. Les tabulatrices	56
5. Les trieuses/interclasseuses de cartes	56
6. Les déliasseuses	57
7. Différents autres dispositifs « off-line »	57
3.3 <i>Le bloc de calcul</i>	57
3.3.1 <i>Traitement de l'information</i>	57
3.3.2 <i>Notions d'Instruction et de programme</i>	58
1. Instructions	58
1.1 Définition	58
1.2 Ecriture des instructions	59
1.2.1 L'étiquette « 8 »	59
1.2.2 Forme générale des instructions « J »	61
1.3 Différents types d'instructions	61
1.3.1 Instructions à 3 + 1 adresses et à 3 adresses	61
1.3.2 Instructions à 2 + 1 adresses et à 2 adresses	62
1.3.3 Instruction à 1 + 1 adresse et à 1 adresse	63
1.3.4 Instruction à 0 + 1 adresse	64
1.4 Ecriture des opérandes	64
1.4.1 Adresse différentielle	64
1.4.2 Adresse indirecte	65
1.4.3 Adresse indexée	66

1.4.4 Adresse indirecte indexée	67
1.4.5 Adresse relative à un symbole	67
2. Programme	67
2.1 Définition	67
2.2 Exécution du programme : Notion de tâche	68
3.4 Le bloc de commande	68
3.4.1 Registres du bloc de commande	68
1. Le Compteur d'Ordres (ou compteur ordinal : CO)	69
2. La Mémoire d'Ordre (MO ou Registre Programme : RP)	69
3. Le Registre d'Instruction (RI)	60
4. Le Registre Adresse (RA)	70
3.4.2 Fonctionnement du bloc de commande	70
4. Schéma plus complet d'un ensemble de calcul	71
4.1 Notion de tampon (ou de « buffer »)	71
4.2 Schéma plus complet d'un ensemble de calcul	73
4.3 Essai de classification des calculatrices	75

CHAPITRE 2

NOTIONS FONDAMENTALES EN PROGRAMMATION

1. Notion de base de numération	79
1.1 Ecriture d'un nombre dans une base r	79
1.2 Arithmétique dans une base donnée	81
1.2.1 Tables d'addition et de multiplication	81
1. Tables d'addition	81
1.1 Table d'addition en base 2	81
1.2 Table d'addition en base 4	81
1.3 Table d'addition en base 8	82
1.4 Table d'addition en base 10	83
1.5 Table d'addition dans le cas d'une base $r = 2B$	84
1.6 Table d'addition dans le cas d'une base $r = 2B + 1$	85
2. Tables de multiplication	85
2.1 Table de multiplication en base 2	85
2.2 Table de multiplication en base 4	86
2.3 Table de multiplication en base 8	86
1.2.2 Addition de deux quantités exprimées en base r	86
1.2.3 Soustraction de deux quantités exprimées en base r	87
1. Tables de soustraction	87
1.1 Table de soustraction en base 2 : $(M - N)$	87
1.2 Table de soustraction en base 4 : $(M - N)$	88
1.3 Table de soustraction en base 8 : $(M - N)$	88
1.4 Table de soustraction en base 10 : $(M - N)$	89
2. Exemples de soustractions	89
2.1 Soustraction à base 2	89
2.2 Soustraction à base 4	89
3. Nombres négatifs	90

4.	Règle des signes	90
4.1	Pour l'addition et la soustraction	90
4.2	Pour la multiplication et la division	91
1.2.4	<i>Multiplication de deux quantités exprimées dans une base r</i>	92
1.	Utilisation des tables de multiplication	92
2.	Multiplication dans une calculatrice	92
2.1	Multiplication de 2 nombres binaires	92
2.2	Multiplication de 2 nombres décimaux	94
1.2.5	<i>Division de deux quantités exprimées dans une base r</i>	95
1.	Utilisation des tables de multiplication	95
2.	Division dans une calculatrice	95
2.1	Division de 2 nombres binaires	95
2.2	Division de 2 nombres décimaux	97
2.	Représentation des nombres dans une calculatrice	101
2.1	<i>Représentation de la valeur du nombre</i>	101
2.2	<i>Conventions utilisées pour représenter le signe</i>	102
2.2.1	<i>Représentation des nombres négatifs en valeur absolue plus signe</i>	102
2.2.1	<i>Représentation des nombres négatifs par leur complément</i>	103
1.	Notion de complément	103
1.1	Complément arithmétique	103
1.2	Complément logique	104
2.	Représentation des nombres négatifs	105
3.	Représentation du zéro dans les deux conventions	107
4.	Soustraction dans le cas où les nombres négatifs sont représentés par leur complément	109
4.1	Calculatrice décimale ($r = 10$)	109
4.1.1	Soit à effectuer l'opération $M - N$	109
4.1.2	Soit à effectuer l'opération $N - M$	110
4.2	Calculatrice binaire ($r = 2$)	110
4.2.1	Soit à effectuer l'opération $M - N$	111
4.2.2	Soit à effectuer l'opération $N - M$	111
5.	Conséquences	112
2.3	<i>Conventions utilisées pour représenter la virgule</i>	114
2.3.1	<i>Représentation des nombres en virgule fixe</i>	114
1.	Position de la virgule	114
2.	Règles pour suivre la virgule au cours des différentes opérations	114
2.0	Facteur d'échelle (ou forme d'un nombre)	114
2.1	Règle pour l'addition et la soustraction	116
2.2	Règle pour la multiplication	116
2.3	Règle pour la division	117
3.	Notion d'arrondi	118
2.3.2	<i>Représentation des nombres en virgule flottante</i>	119
1.	Définitions	119
2.	Représentation des nombres flottants dans une calculatrice	120
2.1	Quantités à représenter	120

2.2	Modes de représentation	121
2.2.1	En convention des nombres en complément	121
2.2.2	En convention des nombres en valeur absolue plus signe	121
2.3	Avantages et inconvénients de la représentation des nombres en virgule flottante	121
3.	Arithmétique sur les données enregistrées en virgule flottante simple précision	121
3.1	Addition et soustraction	122
3.2	Multiplication	123
3.3	Division	123
3.	Autres données	124
3.1	<i>Généralités</i>	124
3.2	<i>Données arithmétiques double précision en virgule fixe</i>	125
3.2.1	<i>Représentation</i>	125
1.	En simple précision	125
2.	En double précision	125
3.2.2	<i>Opérations en double précision</i>	126
1.	Addition et soustraction	126
2.	Multiplication	127
3.	Division	128
3.1	Concaténation de $2p$ zéros à droite	128
3.2	Concaténation de $2p$ zéros à gauche	128
3.3	<i>Données arithmétiques complexes en virgule fixe, simple précision</i>	129
3.3.1	<i>Représentation</i>	129
3.3.2	<i>Opérations</i>	129
1.	Représentation par $a + ib$	129
1.1	Addition et soustraction	129
1.2	Multiplication	130
1.3	Division	130
2.	Représentation par $\rho e^{i\theta}$	130
2.1	Addition et soustraction	130
2.2	Multiplication	131
2.3	Division	131
3.3.3	<i>Passage d'une représentation à l'autre</i>	131
1.	De la forme : $a + ib$, à la forme $\rho e^{i\theta}$	131
2.	De la forme : $\rho e^{i\theta}$, à la forme : $a + ib$	131
4.	Problèmes de conversion	132
4.0	<i>Nécessité d'effectuer des changements de base</i>	132
4.1	<i>Conversion des entiers</i>	133
4.1.1	<i>Méthode générale</i>	133
4.1.2	<i>Entrée des nombres. Conversion d'un nombre en base « n » dans la base r</i>	133
1.	Exemples	133
2.	Algorithme de conversion	134

4.1.3	<i>Sortie des nombres. Conversion d'un nombre en base r dans la base n</i>	140
1.	Pour $n = 10$	140
2.	Pour $n = 2^p$ et $r = 2$	140
3.	Algorithme de conversion	141
4.2	<i>Conversion des fractionnaires</i>	145
4.2.1	<i>Méthode générale</i>	145
4.2.2	<i>Entrée des nombres : Conversion d'un nombre en base n dans la base r</i>	145
4.2.3	<i>Sortie des nombres : Conversion d'un nombre en base r dans la base n</i>	146
1.	Exemples	146
2.	Algorithme de conversion	147
4.2.4	<i>Le problème de la reconversion</i>	149
4.3	<i>Conversion des nombres ayant à la fois une partie entière et une partie fractionnaire</i>	150
4.4	<i>Conversion des nombres flottants</i>	151
4.4.1	<i>Généralités</i>	151
4.4.2	<i>Conversion en Entrée</i>	152
0.	Étapes de la conversion	152
1.	Normalisation du nombre initial	152
2.	Conversion de la mantisse : « $\perp 0, M$ »	153
3.	Conversion de la caractéristique de « 10^{+C} » en une puissance de la base « r » considérée	153
3.1	Passage de « 10^{+C} » à « $0, m_2 r^{+d_2}$ » en utilisant le logarithme	153
3.2	Passage de « 10^{-C} » à « $0, m_2 r^{-d_2}$ » en utilisant une table de correspondance	154
3.2.1	Pour les nombres supérieurs à un	154
3.2.2	Pour les nombres inférieurs à un	155
4.	Formation du nombre converti	155
5.	Normalisation du nombre obtenu	155
4.4.3	<i>Exemple de conversion</i>	156

CHAPITRE 3

ORGANISATION D'UN TRAVAIL POUR LE TRAITER A L'AIDE D'UNE CALCULATRICE	157
1. Notion d'algorithme	157
1.1 Intuitivement	157
1.2 Caractéristiques d'un algorithme	157
1.3 Langages d'écritures des algorithmes	158
1.3.0 Généralités	158
1.3.1 Notion d'organigramme	158
1. Généralités	158
2. Conventions usuelles	158
3. Conventions normalisées	161
1.3.2 Les tables de décisions (ou tables programmes)	161
1. Table de décisions à une entrée et une sortie	161
2. Table de décisions à m entrées et n sorties	163
2.1 Description	163
2.2 Fonctionnement d'une table programme	164

1.3.3	<i>Le langage d'IVERSON</i>	164
1.3.4	<i>Exemples d'écriture d'algorithmes</i>	167
1.	Calcul d'une somme	167
1.1	Algorithme exprimé dans le langage usuel	167
1.2	Organigramme	167
1.3	En ALGOL	167
1.4	Table de décision	168
1.5	En langage d'IVERSON	168
2.	Calcul d'un produit	168
2.1	Algorithme exprimé dans le langage usuel	168
2.2	Organigramme	169
2.3	En ALGOL	169
2.4	Table de décision	170
2.5	En langage d'IVERSON	170
3.	Addition de deux matrices	170
3.1	Algorithme exprimé dans le langage usuel	170
3.2	Organigramme	171
3.3	En ALGOL	171
3.4	Table de décision	172
3.5	En langage d'IVERSON	172
4.	Multiplication de deux matrices	173
4.1	Algorithme exprimé dans le langage usuel	173
4.2	Organigramme	173
4.3	En ALGOL	174
4.4	Table de décision	174
4.5	En langage d'IVERSON	175
5.	Problème de déduction logique = Le problème des menteurs	175
5.1	Enoncé	175
5.2	Algorithme de la solution	176
5.2.1	En français	176
5.2.2	Organigramme	178
5.2.3	En ALGOL	179
5.2.4	Table de décision	179
5.2.5	En langage d'IVERSON	180
2.	Comment réaliser un travail à l'aide d'une calculatrice	180
2.1	<i>Pourquoi est-il nécessaire d'organiser le travail sur une calculatrice ?</i>	180
2.2	<i>Canevas utilisé par la rédaction d'un dossier de calcul</i>	181
2.2.1	<i>Enoncé du problème</i>	181
2.2.2	<i>Conventions utilisées pour le passage en machine</i>	181
2.2.3	<i>Organigrammes</i>	182
2.2.4	<i>Programmes</i>	183
2.2.5	<i>Résultats</i>	183
2.2.6	<i>Réseau PERT du travail</i>	183
2.3	<i>Etapes de réalisation et de mise au point des programmes</i>	187
3.	Software d'une calculatrice. Langages de programmation. Traducteurs	190
3.1	<i>Notion de « software »</i>	190
3.2	<i>Classification des langages de programmation</i>	190

3.3	<i>Traducteurs</i>	191
3.3.1	<i>Définitions</i>	191
3.3.2	<i>Traducteurs à passes multiples</i>	193
3.3.3	<i>Notion de macro-générateur (ou de macro-processeur)</i>	193
CHAPITRE 4		
PROGRAMMATION EN LANGAGE MACHINE		194
1.	Machine fictive	194
1.1	<i>Présentation du « hardware »</i>	194
1.1.1	<i>Un Bloc de Commande</i>	194
1.1.2	<i>Un Bloc de Calcul</i>	194
1.1.3	<i>Une Mémoire Centrale</i>	194
1.1.4	<i>Des Organes d'Accès</i>	195
1.2	<i>Le langage interne de la machine</i>	195
1.2.1	<i>Les données</i>	195
1.	1. Les nombres	195
2.	Les caractères	196
1.2.2	<i>Le langage interne</i>	196
1.	Format interne des instructions	196
2.	Catalogue des instructions	197
1.3	<i>Simulation de la machine fictive</i>	199
1.3.1	<i>Fonctionnement de la machine</i>	199
1.	Le Bloc de commande	199
2.	Le Bloc de calcul	199
1.3.2	<i>Comportement de la machine en cas d'incidents</i>	200
2.	Langage externe	201
2.1	<i>Comment rendre commode l'utilisation de cette machine ?</i>	201
2.2	<i>Format externe des instructions (du langage $\mathcal{L}_e$)</i>	202
2.2.1	<i>Ecriture des instructions</i>	202
2.2.2	<i>Ecriture des instructions sur les cartes</i>	203
2.2.3	<i>La liste du programme écrite dans le langage $\mathcal{L}_e$</i>	204
2.3	<i>Instructions du langage externe</i>	205
2.3.0	<i>Instruction vide : « NOP »</i>	205
2.3.1	<i>Instruction d'arrêt de la machine : « FIN »</i>	206
2.3.2	<i>Instructions arithmétiques</i>	206
1.	L'addition : « ADD »	206
2.	La soustraction : « SOU »	206
3.	La multiplication : « MUL »	207
4.	La division : « DIV »	207
2.3.3	<i>Instructions de mouvements</i>	209
1.	Mouvements de Mémoire à Registre (chargement)	209
1.1	Chargement de A : « LMA »	209
1.2	Chargement de Q : « LMQ »	209
1.3	Chargement de A et de Q : « LMAQ »	209
2.	Mouvements de Registre à Mémoire (Stockage)	210
2.1	Stockage de A : « STA »	210

2.2	Stockage de Q : « STQ »	210
2.3	Stockage de A et de Q : « STAQ »	210
3.	Mouvements de Registre à Registre	210
3.1	Mouvement de A dans Q : « LAQ »	211
3.2	Mouvement de Q dans A : « LQA »	211
2.3.4	<i>Instructions de Ruptures de Séquence (ou de Branchements)</i>	212
1.	Rupture de Séquence Inconditionnelle : « BIN »	212
2.	Ruptures de Séquence Conditionnelles	212
2.1	Si (A) positif : « BAP »	212
2.2	Si (A) nul : « BAZ »	212
2.3	Si (A) négatif : « BAN »	213
2.3.5	<i>Instructions d'Entrées/Sorties</i>	214
1.	Le Chargement des données et l'Impression des résultats	214
2.	Instructions de lecture	215
2.1	Lecture de nombres : « LIRN »	215
2.2	Lecture de caractères : « LIRC »	215
3.	Instructions d'écriture	216
3.1	Ecriture de nombres : « ECRN »	216
3.2	Ecriture de caractères : « ECRC »	217
2.4	<i>Ordres donnés à l'assembleur</i>	221
2.4.1	<i>Définition des données (les pseudo-instructions)</i>	221
1.	Définition des nombres : « CST »	221
2.	Définition des caractères : « TEXT »	221
2.4.2	<i>Autres ordres donnés à l'assembleur (les combinaisons de commande)</i>	224
1.	Définition de l'origine d'exécution : « DEBUT »	224
2.	Définition des cartes de Commentaires : « * »	225
3.	Définitions de mise en page de la liste des textes (source et généré)	225
3.1	Saut de page : « PAGE »	225
3.2	Saut de ligne : « LIGNE »	226
3.	Etude des dispositifs d'adressage	226
3.0	<i>Le problème de la modification des adresses</i>	226
3.1	<i>Modification d'instruction (ou calcul d'adresse)</i>	227
3.2	<i>Adressage indexé</i>	230
3.2.1	<i>Principe de l'indexation</i>	230
3.2.2	<i>Instructions permettant de travailler sur des Registres d'Index</i>	231
1.	Instructions de Chargement des Registres d'Index	231
1.1	Chargement Mémoire à Registre d'Index : « LMX »	231
1.2	Chargement Adresse Immédiate à Registre d'Index : « LIX »	232
2.	Instruction de Rangement d'Index : « STX »	232
3.	Instructions d'Addition et de Soustraction en Index	232
3.1	Décrémentation d'index : « DECX »	232
3.2	Incrémentation d'index : « INCX »	233
4.	Instruction de test d'Index : « BXNZ »	233
3.2.3	<i>Exemples sur l'utilisation de l'indexation</i>	233
1.	Premier exemple	233
2.	Second exemple	235

3. Autre exemple : Traitements sur les tables	237
3.1 Notion de table	237
3.2 Traitements sur les tables	237
3.3 Exemple de recherche d'un élément dans une table	238
3.3.1 Consultation normale d'une table	238
3.3.2 Recherche d'un élément dans une table par accès direct	240
3.3.3 Recherche d'un élément à l'aide d'une table de présélection	242
3.3 Adressage indirect	244
3.3.1 Principe de l'adressage indirect	244
1. Adresse indirecte	245
2. Adresse indirecte indexée	245
3.3.2 Exemples d'utilisation de l'indirection	247
1. Premier exemple	247
2. Autre exemple : Traitements sur les piles	249
2.1 Notion de pile	249
2.2 Construction d'une pile	250
2.3 « Entrée » d'un élément	250
2.4 « Sortie » d'un élément	252
4. Instructions d'appel de Sous-Programmes	254
4.1 Notion de Sous-Programme	254
4.2 Définitions	255
4.2.1 Sous-Programme	255
4.2.2 Sous-Programmes Statique et Dynamique	255
4.2.3 Sous-Programmes Ouvert et Fermé	255
4.2.4 Niveaux d'Appel de différents Sous-Programmes Fermés	257
4.3 Méthodes permettant de résoudre le problème du retour dans le cas de Sous-Programmes Fermés	258
4.3.1 Première solution : Par calcul d'adresse	258
4.3.2 Seconde solution : Par utilisation d'un Registre d'Index	260
4.3.3 Troisième solution : Par utilisation de l'adressage indirect	261
4.3.4 Utilisation d'une instruction spécialisée : « BSP »	262
4.4 Exemples sur le passage des arguments dans l'appel des Sous-Programmes	263
4.4.1 Appel par Valeur	263
4.4.2 Appel par le Nom	266
5. Les Aiguillages	270
5.1 Notion d'aiguillage	270
5.2 Exemples d'utilisation d'aiguillages	272
5.2.1 Aiguillages simples	272
1. Problème	272
2. Première solution : Par calcul d'instruction	272
3. Seconde solution : Par utilisation d'un Indicateur	273
5.2.2 Aiguillage « flip-flop »	273
5.2.3 Aiguillage multiple	276
6. Chargement initial du programme à exécuter (« Bootstrap »)	278
6.1 Le problème du chargement initial	278
6.2 Exemple de solution au problème du chargement initial	278