R2.04:
Communication et fonctionnement bas niveau: Assembleur

U.E.2.2 et U.E.2.3

Sophie Laplace – Yann Carpentier

Introduction

- Séquence pédagogique:
  - 4 cours de 1H: 1 x 4 semaines
  - 4 TD de 1H30: 1 x 4 semaines
  - 5 TP de 1H30: 1 x 5 semaines
  - 1 contrôle (1H30) la semaine du 23 mai
- 2 intervenants:
  - Sophie Laplace (cours TD1 TD2)
  - Yann Carpentier (TD3)

2

Introduction

- Objectif de la ressource R2.04 :
  - Comprendre le fonctionnement des couches systèmes et réseaux bas niveau
  - Découvrir les multiples technologies et fonctions mises en œuvre dans un réseau informatique
  - Comprendre les rôles et structures des mécanismes bas niveau mis en oeuvre pour leur fonctionnement

3

Introduction

- Savoirs de référence à étudier:
  - Étude d'un système à microprocesseur ou microcontrôleur avec ses composants (mémoires, interfaces, périphériques, etc.)
  - Langages de programmation de bas niveau et mécanismes de bas niveau d'un système informatique
  - Étude d'architectures de réseaux et notion de pile protocolaire – Technologie des réseaux locaux : Ethernet, WiFi (Wireless Fidelity), TCP/IP , routage, commutation, adressage, transport
- Mots clés: Protocoles Pointeurs Interruptions Langage bas niveau

4

Plan du cours

- Introduction
- Modèle de microprocesseur
- Programmation en assembleur
- Procédures et fonction
- Programmation avancée

5

Modèle de microprocesseur

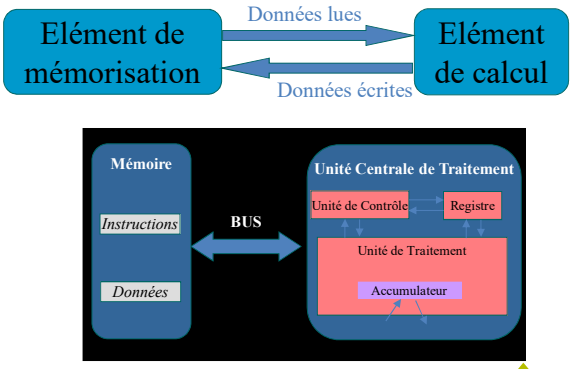
- R1.03: Introduction à l'architecture des ordinateurs
  - Ordinateur ⊃ Carte mère ⊃ Microprocesseur
  - Microprocesseur = Unité Centrale de Traitement = Central Processing Unit (CPU)
  - CPU= UC + UT + registres

  - UC (Unité de contrôle):
    - Séquenceur: description en séquence des opérations élémentaires qui permettent l'exécution d'une instruction
    - Ordres à tous les organes du microprocesseur
  - UT (Unité de traitement) ↔ UAL (Unité Arithmétique et Logique) ↔ Unité de calcul:
    - > Réalisation des calculs
    - > Résultats dans l'accumulateur

6

Modèle de microprocesseur

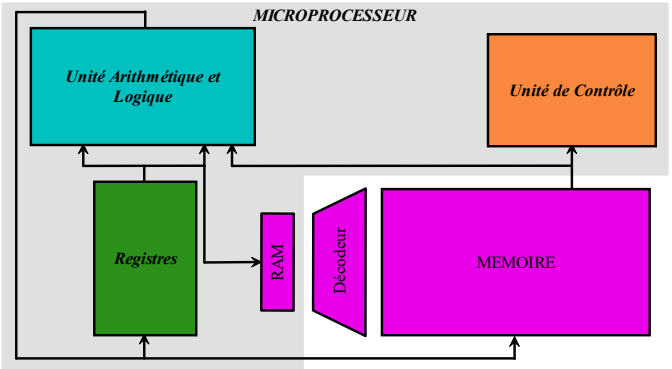
- R1.03: Introduction à l'architecture des ordinateurs
  - Modèle de Von Neumann



7

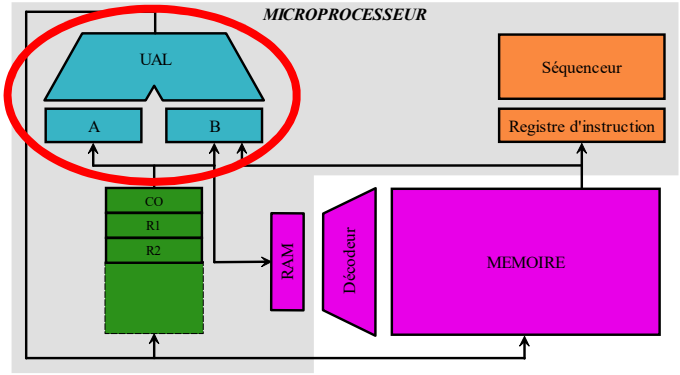
Modèle de microprocesseur

- R1.03: Introduction à l'architecture des ordinateurs



8

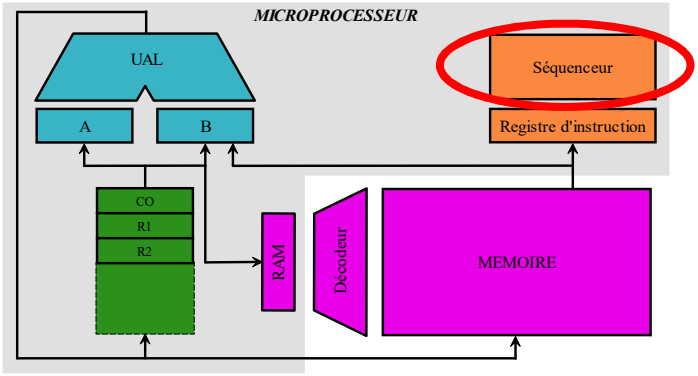
Modèle de microprocesseur



- UAL (Unité Arithmétique et Logique)
  - Réalisation des calculs
  - Résultats dans les accumulateurs
  - A et B registres d'entrée

9

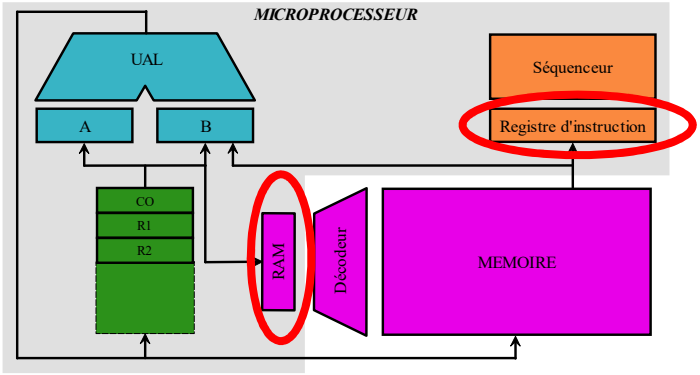
Modèle de microprocesseur



- UC (Unité de contrôle):
  - Séquenceur: description en séquence des opérations élémentaires qui permettent l'exécution d'une instruction
  - Câblé ou microprogrammé
  - Ordres à tous les organes du microprocesseur

10

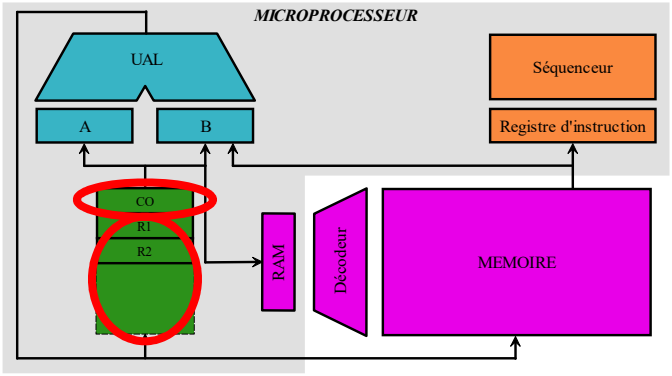
Modèle de microprocesseur



- Registre d'instructions (RI):
  Instruction en cours d'exécution
- Registre d'adresses mémoire (RAM)
  - Adresse mémoire de la donnée à laquelle accéder

11

Modèle de microprocesseur

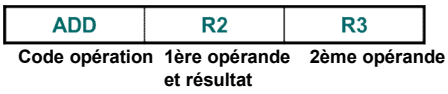


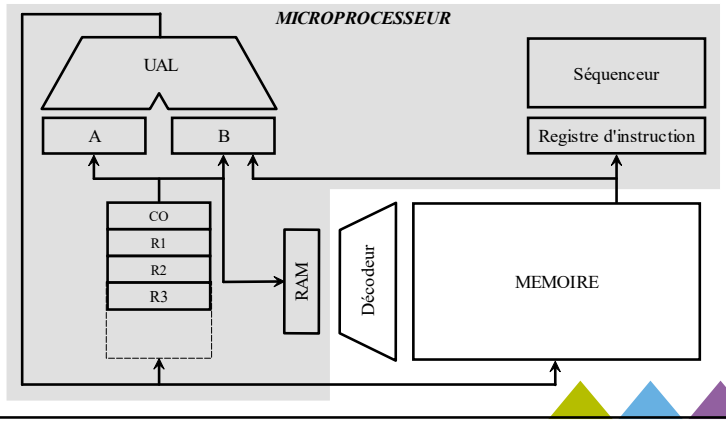
- Compteur Ordinal (CO):
  - Adresse de la prochaine instruction à exécuter
- Registres de données (Ri):
  - Stockage des informations à stocker ou extraire de la mémoire centrale

12

Modèle de microprocesseur

- Exécution de l'instruction: R2← R2 + R3



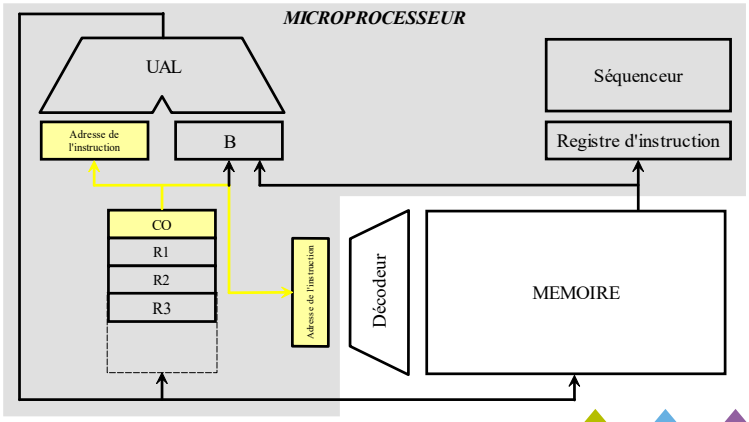


13

Modèle de microprocesseur

- Boucle d'exécution: étapes permettant de réaliser l'instruction

1. Compteur Ordinal: CO → A et CO → RAM

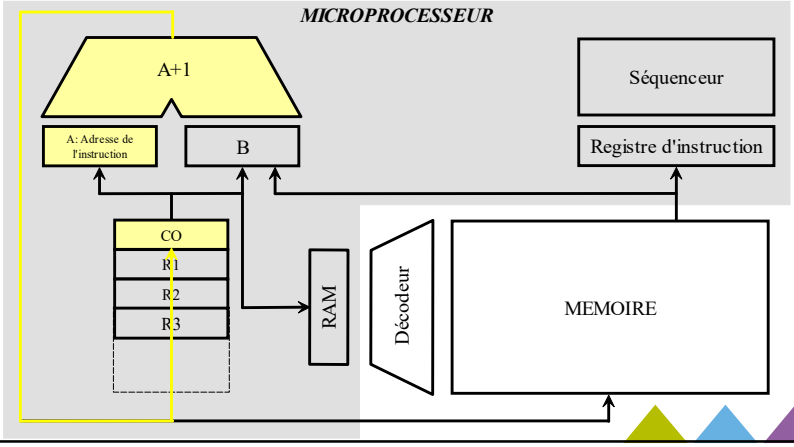


14

Modèle de microprocesseur

- Boucle d'exécution: étapes permettant de réaliser l'instruction

2. UAL incrémente le registre A (CO) et le replace dans CO

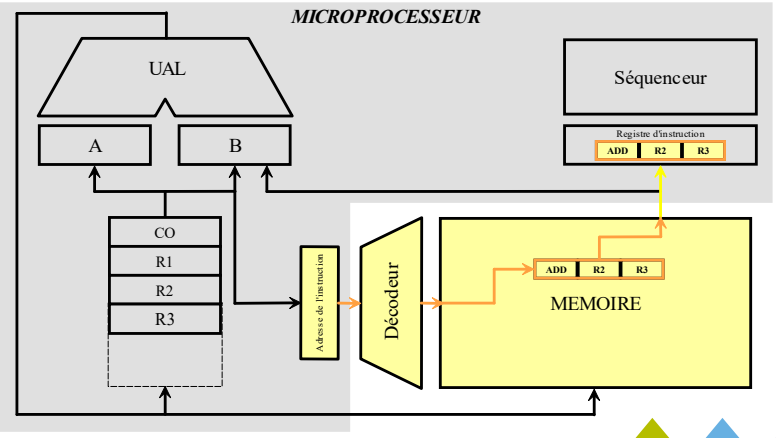


15

Modèle de microprocesseur

- Boucle d'exécution: étapes permettant de réaliser l'instruction

3. Lecture en mémoire de l'instruction ADD R2 R3 et chargement dans le registre d'instruction RI

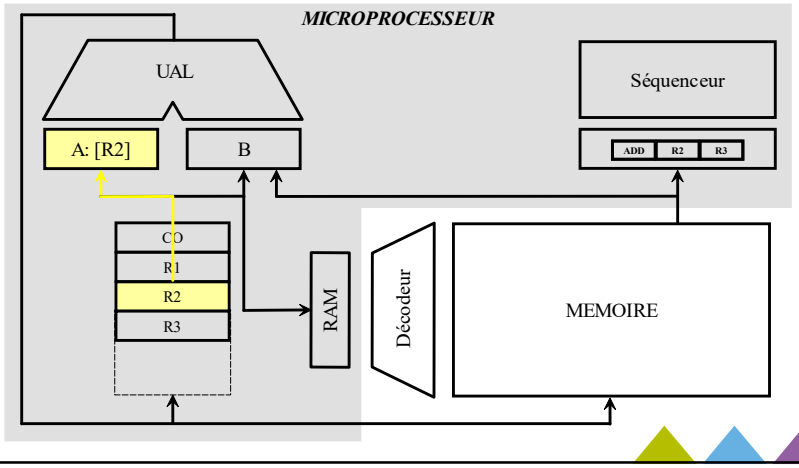


16

Modèle de microprocesseur

- Boucle d'exécution: étapes permettant de réaliser l'instruction
  4. R2 → A

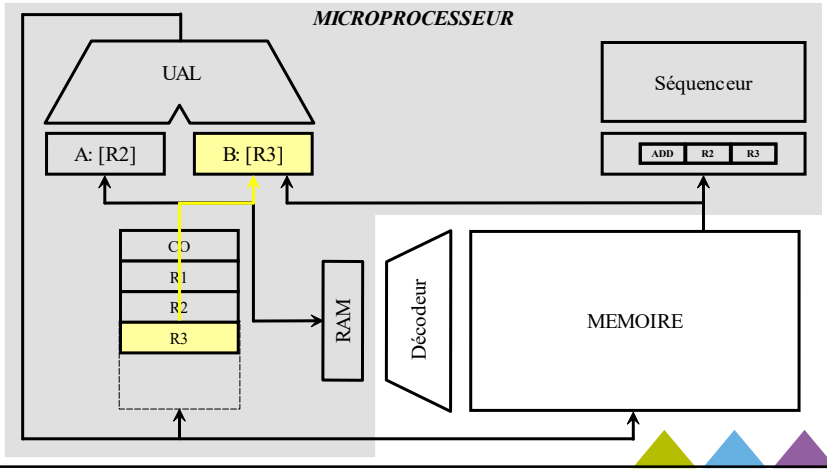
notation: [R2] contenu de R2



17

Modèle de microprocesseur

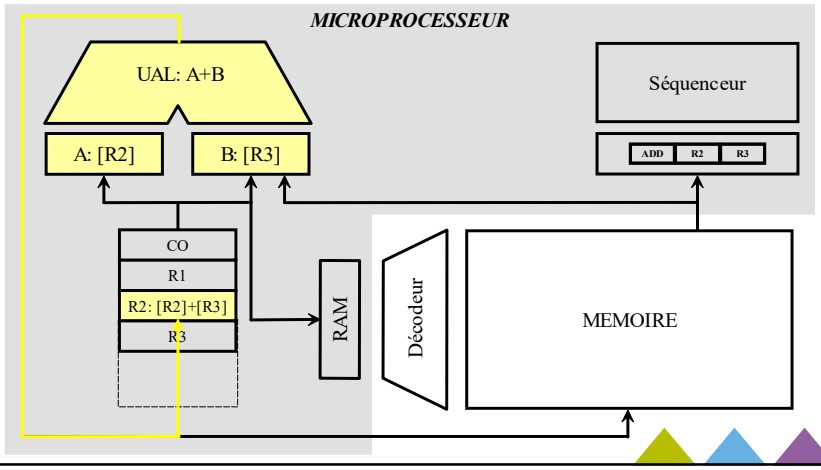
- Boucle d'exécution: étapes permettant de réaliser l'instruction
  5. R3 → B



18

Modèle de microprocesseur

- Boucle d'exécution: étapes permettant de réaliser l'instruction
  6. UAL calcule R2+R3 et résultat placé dans R2



19

Modèle de microprocesseur

- Boucle d'exécution:

Permet le passage à l'instruction suivante

Indépen-dants de l'instruction

1. CO → A et CO → RAM
2. Incrémentation du CO:

   UAL incrémente le registre A (CO) et le replace dans CO
3. Lecture en mémoire de l'instruction (ici ADD R2 R3) et chargement dans le registre d'instruction RI
4. R2 → A
5. R3 → B
6. UAL calcule R2+R3 et résultat placé dans R2

Dépendant de l'instruction: orchestration par le séquenceur

20

Plan du cours

- Introduction
- Modèle de microprocesseur
- Programmation en assembleur
- Procédures et fonction
- Programmation avancée

21

Programmation en assembleur

- Le µp vu par le programmeur
  - µp: exécute des instructions
  - Jeu d'instruction
    - > Transferts → Mémoire
    - > Traitement → UT=UAL
    - > E/S → Unité d'échange
    - > Ruptures de séquences → UC
  - Utilisation de registres comme opérandes à ces instructions ⇒ accès plus rapide qu'en mémoire
    - > RISC (*reduced instruction-set computer)* : registres généraux
    - > CISC (*complex instruction-set computer)* : registres spécialisés
  - Registres inaccessibles au programmeur: CO, RI, RAM

22

Programmation en assembleur

- L'UE vue par le programmeur
  - UE = registres accessibles par les instructions d'E/S
  - Lecture des registres d'état → ce que fait ou a fait l'UE
  - Ecriture dans les registres de commande de l'UE:
    - > paramétrer le fonctionnement de l'UE
    - > commander le fonctionnement de l'UE (faire faire)
  - Registres de données de l'UE: échange d'information avec les périphériques

23

Programmation en assembleur

- Programmation: suite d'instructions
  - Instruction=

code de l'opération + désignation des opérandes

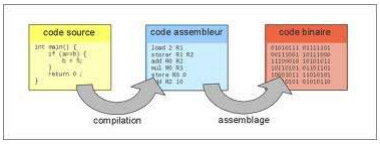
LD R0,4

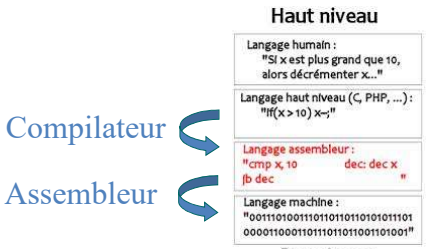
  - Instructions connues par le µp:
    - > en binaire
    - > en assembleur:
      - Code opération: mnémoniques (LD, ADD, JMP…)
      - Opérandes: noms de registres (R5…), variables

24

Programmation en assembleur

- Passage du langage aux instructions du µp:
  - Langage de programmation: un compilateur
  - Langage machine: un assembleur





25

Programmation en assembleur

- Description des opérandes
  - par registre:
    - > opérande dans un registre
    - > décrite par le registre la contenant

    LD R0,4
  - immédiat: valeur contenue dans l'instruction

    LD R0,4
  - direct:
    - > opérande en mémoire
    - > décrite par son adresse en mémoire (adop)

    LD R0,adop
  - indirect:
    - > opérande en mémoire
    - > décrite par le registre ou la variable contenant son adresse (***pointeur***)

    LD R0,var
  - indirect avec déplacement:
    - > opérande en mémoire
    - > décrite par le registre ou la variable contenant une adresse et un déplacement à partir de cette adresse

    LD R0, R2+2

26

Programmation en assembleur

- Description des opérandes
  - indirect avec, en post ou pré, une incrémentation ou une décrémentation:
    > opérande en mémoire
    > décrite par le registre ou la variable contenant une adresse et une incrémentation ou décrémentation soit de l'adresse soit de la variable
  - avec un segment ⇒ protection des données
  - une combinaison de tout cela:
    > Segment + indirect + déplacement + post incrément
    > …

27

Programmation en assembleur

- Instructions en langage machine:
  - Syntaxe:

[etiquette:] COP [OP1[,OP2]] ;commentaire

28

Programmation en assembleur

- Différents types d'instruction en langage machine:
  - Déplacement d'information:
    - > De mémoire à mémoire
    - > De mémoire à registre
    - > De registre à registre
  - Traitements:
    - > Arithmétiques
    - > Logiques
    - > Comparaisons
    - > Décalages
  - Traitements spécifiques à certains µp:
    - > Mathématiques
    - > Vectoriels
    - > Chaînes de caractères
    - > Traitement d'images

29

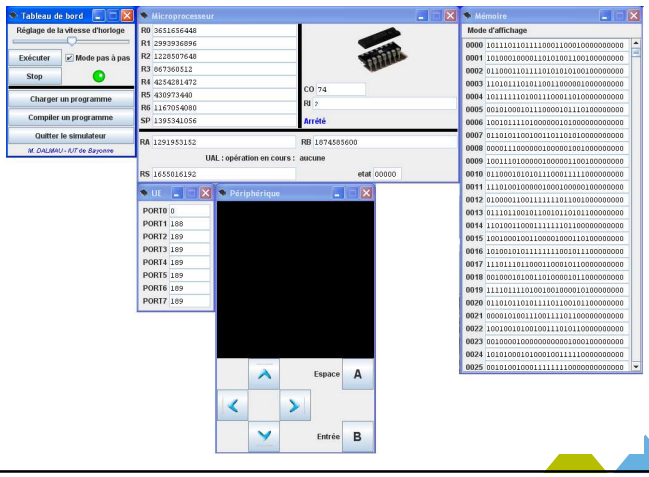
Programmation en assembleur

- Différents types d'instruction en langage machine:
  - Rupture de séquences:
    - > Passage d'une instruction à une autre selon une condition
    - > Condition sur le registre d'état de l'Unité de Traitement (UAL)
    - > Description de l'instruction destinataire: étiquette (adresse)
  - Contrôle:
    - > Appel, retour de procédures
    - > Manipulation de pile
    - > Gestion des interruptions

30

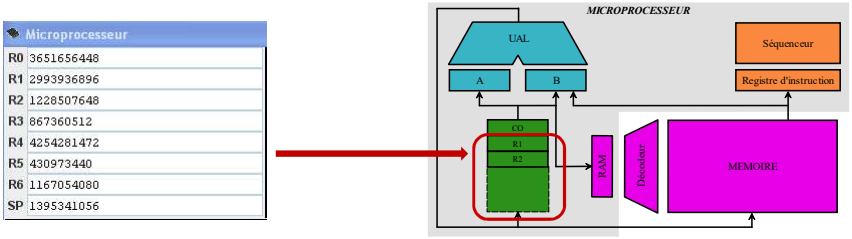
Programmation en assembleur

- Exemple de µp : simulateur de Marc Dalmau



Programmation en assembleur

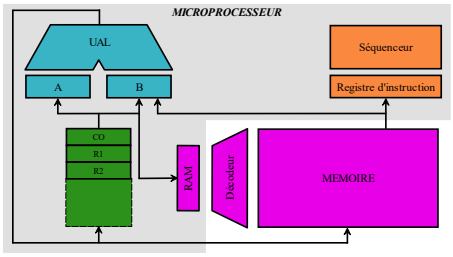
- Exemple de µp : simulateur de Marc Dalmau
  - Mémoire: mots de 32 bits
  - Registres:
    - > Accessibles par programmeur:



- R0 à R6: 7 registres d'usage général
- SP: pointeur de pile (Stack Pointer)

Programmation en assembleur

- Exemple de µp : simulateur de Marc Dalmau
  - Non accessibles par programmeur:



> CO

> RI

> Registre d'état

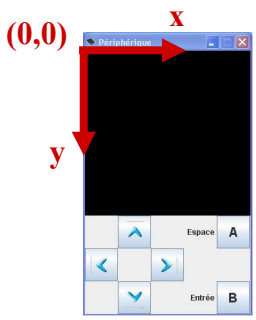
> RA, RB, RS: registres de l'UT (UAL)

Programmation en assembleur

- Exemple de µp : simulateur de Marc Dalmau
  - UT:
    - Opérations de type arithmétique, logique et décalage uniquement
    - Entiers naturels, entiers relatifs en complément à 2
  - Exemple: -7 en complément à 2
    - 7: 0111
    - Complément: 1000
    - Complément +1 → complément à 2 soit -7: 1001

Programmation en assembleur

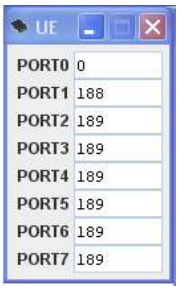
- Exemple de µp : simulateur de Marc Dalmau
  - UE:
    - >Gestion:
      - –Clavier: 6 touches + 1 souris
      - –Écran graphique 256x256 en couleur



35

Programmation en assembleur

- Exemple de µp : simulateur de Marc Dalmau
  - UE:
    - > 8 registres appelés ports:
      - – Port 0: touches du clavier et souris
      - – Port 1 à 5: écran graphique
      - – Port 6: coordonnée x de la souris
      - – Port 7: coordonnée y de la souris



36

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Définition
    - > variables : adresse en mémoire + taille
    - > instructions : COP + opérandes
  - 3 zones en mémoire:
    - > Code
    - > Variables
    - > Pile: utilisée pour les procédures
  - Organisations possibles des 3 zones mémoires:
    - > mélangées
    - > par segments si le µp les gère ⇒ protection

37

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Squelette d'un programme pour simulateur:

.DATA

déclaration des variables et constantes

.CODE

écriture du code

.STACK

réservation de place pour la pile

38

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Déclaration des variables et constantes

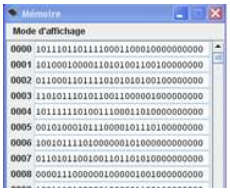
> Définition:
- Réservation de place en mémoire pour une variable
- Attribution d'un nom

> Absence de typage:
- Connu seulement par programmeur
- ***Au programmeur à effectuer les bons traitements***

39

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Déclaration des variables et constantes
    > Manipulation des informations par leur nom = adresse des variables
    - Programme: nom des variables
    - Microprocesseur: adresse des variables
    - Possibilité de manipuler toute la mémoire: variables, instructions
    - ***Responsabilité du programmeur***



40

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Déclaration des variables et constantes
    - > Programme:
      - .DATA
        - Positionnement des variables en mémoire
        - Equivalence nom = adresse
      - .STACK
        - Positionnement de la pile
        - Réservation de place pour la pile
    - > Deux cas:
      - Variables non initialisées
      - Variables initialisées

41

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Déclaration des variables et constantes
    - > Variables non initialisées:

	Nom	**DSW**	**taille (en mots mémoire)**
Ex:	NbrTour	DSW	1

    - > Variables initialisées:

	Nom	**DW**	**valeur**
Ex:	NbrTour	DW	1

    - Valeur: Convertie en binaire par le compilateur
    - > une variable = un mot mémoire (sauf pour chaîne)

42

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Types des valeurs:
    - > Entier décimal positif ou négatif: **1225 ou -6**
      - de 0 à 4 294 967 295 (2^{32}-1)
      - ou de – 2 147 483 647 à 2 147 483 647 (2^{31}-1)
      - Valeur sur 32 bits en complément à 2
    - > Entier hexadécimal: **$1a ou $ffa3**
      valeur sur 32 bits (8 digits hexadécimaux maximum)

      Rappel sur le codage hexadécimal

0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	A
11	B
12	C
13	D
14	E
15	F

43

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Valeur binaire: **%10111010**
    valeur sur 32 bits (32 chiffres binaires maximum)
  - Caractère ASCII: **'v'**
    - > code ASCII du caractère étendu à 32 bits
    - > ' et ; inutilisables car délimitent les caractères et les commentaires
  - Chaine de caractères : **« egun on »**
    un code ASCII étendu à 32 bits par mot mémoire
    un mot mémoire pour chaque caractère

44

12
!
-1
var3-0
var3-1
var3-2
var3-3
var3-4
var3-5
var3-6
var3-7
var3-8
var3-9
var3-10
var3-11
A
B
C
11
22
j
e
0

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Exemple de déclaration:

var1	DW	12	var 1 occupe 1 mot qui contient 12
car	DW	'!'	1 mot qui contient le code ASCII de '!'
var2	DW	-1	1 mot qui contient -1
var3	DSW	12	12 mots non initialisés
var4	DW	"ABC"	3 mots dont le 1er contient le code ASCII de 'A', le deuxième celui de 'B' et le dernier celui de 'C'.
var5	DW	11	2 mots initialisés à 11 pour le premier
	DW	22	et 22 pour le second
var6	DW	"je"	3 mots dont le 1er contient le code ASCII de 'j', le 2ème celui de 'e' et le dernier la valeur 0.
	DW 0		

45

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Ecriture du code
    - > Désignation des opérandes
      - Immédiat : valeur **Val**
      - Registre : nom du registre **RG**
      - ex: R0 ou r1
      - Direct : nom de la variable **Var**
        - ex: var1
        - Nom commence par une lettre
        - délimiteurs (' " ; , [ ]), mot clé STACK, nom de registres interdits
        - Casse (majuscules ≠ minuscules)
        - Accent possible.
      - Indirect : **[RG+d]**
        - Registre contient l'adresse de l'opérande [R1]
        - déplacement positif: $0 \leq d \leq 1023 = 210-1$
        - adresse dans le registre: 10 bits de faible poids (sur 32)

46

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Attention:

> Dans les exemples de déclaration (Var1, var2, ….): variables sur 1, 2 ou x mots mémoires

> Dans la description des instructions:
- Var uniquement sur 1 mot mémoire
- Var ≠ chaîne
- Var ≠ tableau

47

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Ecriture du code
    - > Déplacement de données
      - **LD dest, source ; écriture dans un registre**
        - chargement dest ← source
        - destination: RG ou [RG]
        - source: Val, Var, RG, [RG], [RG+d]
      - **ST source, Var ;lecture d'un registre**
        - chargement Var ← source
        - source: RG, [RG]
      - **SWP oper**
        - échange les 16 bits de fort poids et les 16 bits de faible poids
        - oper: Var, RG, [RG], [RG+d]
      - **LEA dest, var**
        - chargement dest ← adresse de la variable
        - dest: RG, [RG]
        - initialisation de pointeur (SP)
        - Adresse du premier élément de la variable

48

Programmation en assembleur

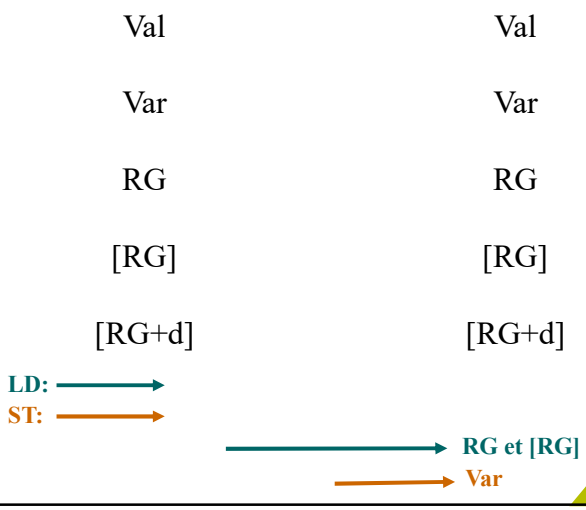
- Programme en langage machine:
  - Exemples d'écriture du code (Déplacement de données avec LD):

```
> LD   R0,r1        ; R0 ← R1
> LD   R1,$ff03     ; R1 ← FF03 en hexadécimal
> LD   R2,'A'       ; R2 ← code ASCII de 'A'
> LD   R0,var1      ; R0 ← contenu de var1
> ST   R2,var2      ; var2 ← contenu de R2
> LD   R0,[SP]      ; R0 ← contenu de la mémoire à
                    l'adresse contenue dans SP
> LD   [R1],12      ; mémoire à l'adresse contenue
                    dans R1 ← 12
> LD   [r1],var     ; mémoire à l'adresse contenue
                    dans R1 ← contenu de var
> LD   R0,[R0]      ; R0 ← contenu de la mémoire à
                    l'adresse contenue dans R0
```

49

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Différence entre ST et LD pour les déplacements:



50

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Ecriture du code:
    - > Instructions arithmétiques
      - – Indicateurs de débordements des entiers naturels et relatifs du registre d'état de l'UT (sauf NEG)
    - > Type: **XXX op1, op2**
      - – op1 ← op1 XXX op2
      - – XXX= ADD, SUB, MUL (entiers relatifs), MULU (entiers naturels), DIV, DIVU
      - – op1: RG, [RG]
      - – op2: Val, Var, RG, [RG], [RG+d]
    - > Type: **YYY oper**
      - – oper ← résultat de YYY sur oper
      - – YYY = INC, DEC, NEG (-oper)
      - – oper: Var, RG, [RG], [RG+d]

51

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Ecriture du code:
    - > Instructions de rupture de séquence: branchements
      - – JMP etiq: branchement inconditionnel
      - – Bxx etiq: branchement conditionnel si la condition est vérifiée

Condition	Comparaison d'entiers naturels	Comparaison d'entiers relatifs
op 1 = op2	BEQ	BEQ
op1 ≠ op2	BNE	BNE
op1 < op2	BLTU	BLT
op1 ≤ op2	BLEU	BLE
op1 > op2	BGTU	BGT
op1 ≥ op2	BGEU	BGE
débordement	BDEBU	BDEB

52

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Ecriture du code:
    - > Instructions de rupture de séquence: branchements
      - – Mnémotechnique
        - BEQ: Branchement si EQual
        - BNE: Branchement si Not Equal
        - BLT: Branchement si Lesser Than
        - BLE: Branchement si Lesser or Equal
        - BGT: Branchement si biGger Than
        - BGE: Branchement si biGger or Equal
        - BDEB: Branchement si DEBordement
        - XXXU (BLTU, BLEU, BGTU, BGEU, BDEBU): XXX Unsigned

Programmation en assembleur

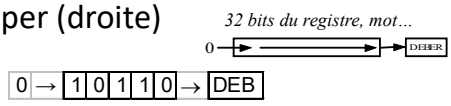
- Programme en langage machine:
  - Ecriture du code:
    - > Instructions de rupture de séquence: branchements
      - – Etiq: étiquette
        - désigne l'instruction résultante
        - mot alphanumérique
          - sans délimiteur du langage: ' " ; , [ ]
          - sans espace
          - caractères accentués possibles
          - terminé par :
        - Ne pas la faire suivre d'un espace
      - – Exemple:

```
Debut:      LD      R0,0
            CMP     R0,0
            BNE     debut
            INC     R0
```

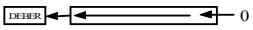
CO incrémenté donc si R0 = 0 passage à la suite

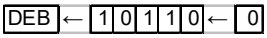
Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Ecriture du code:
    - >Instructions de décalage
      - –Oper: Var, RG, [RG], [RG+d]
      - –DEBER: indicateur de débordement des entiers naturels du registre d'état de l'UT
      - –logique:
        - SHR oper (droite)



        - SHL oper (gauche)



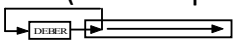


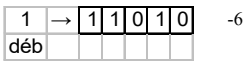
55

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - Ecriture du code:
    - >Instructions de décalage
      - –Arithmétique
        - SAR oper (droite)

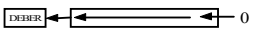
conserve le signe du nombre (division par 2n)



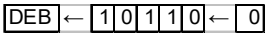


-6

        - SAL oper (gauche)



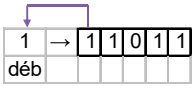
(identique SHL)

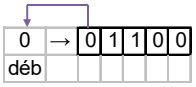


56

Programmation en assembleur

- Programme en langage machine:
  - >Exemple: décalage arithmétique droite

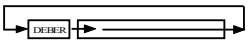


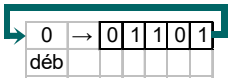


57

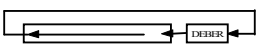
Programmation en assembleur

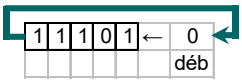
- Programme en langage machine:
  - Ecriture du code:
    - > Cyclique
      - ROR oper (droite)





      - ROL oper (gauche)





58

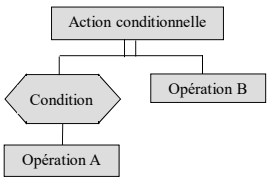
Programmation en assembleur

- Structures de contrôle en langage machine
  - PB: Traduction des structures de contrôle en langage machine
  - Traduites avec les opérations de rupture de séquence conditionnelles ou inconditionnelles
  - Compilateur: réalise cela
  - Contraintes possibles imposées par les langages sur la machine :
    - > vérification des types des variables
    - > interdiction de la modification du code
    - > limitation des structures de contrôle
  - Machine seule: pas de contraintes, tout est possible

59

Programmation en assembleur

- Structures de contrôle en langage machine
  - Action conditionnelle



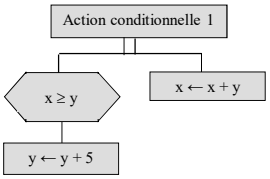
  - Évaluation de la condition
  - Si faux: branchement à instruction associée (B)
  - Si vrai :
    - > effectuer l'opération associée à condition vérifiée (A)
    - > puis effectuer l'opération non conditionnelle (B)

60

Programmation en assembleur

▶Structures de contrôle en langage machine

- Exemple d'action conditionnelle



1. **Évaluation de la condition** $x \geq y$
2. **Si faux branchement à instruction associée** $x \leftarrow x + y$
3. **Si vrai:**
   1. effectuer l'opération associée à condition vérifiée $y \leftarrow y + 5$
   2. Puis effectuer l'opération non conditionnelle $x \leftarrow x + y$

```
        CMP     x,y
        BLTU    suite       ; si <
        ADD     y,5         ; si ≥
suite:  ADD     x,y
```

61

Programmation en assembleur

▶Structures de contrôle en langage machine

- Remarque:
  - > limitations de notre simulateur: contraintes sur les types d'opérandes des instructions

```
        CMP     x,y     Variables ≠ RG ou [RG]
        BLTU    suite       ; si <
        ADD     y,5         ; si ≥
suite:  ADD     x,y
```

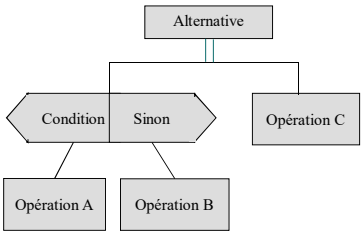
  - > Nouvelle version du code

```
        LD      R0,x
        LD      R1,y
        CMP     R0,y
        BLTU    suite       ; si <
        ADD     R1,5        ; si ≥
suite:  ADD     R0,R1
        ST      R0,x
        ST      R1,y
```

62

Programmation en assembleur

- Structures de contrôle en langage machine
  - Alternative:

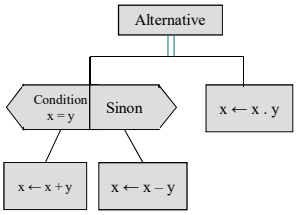


> Évaluation de la condition
> Si faux branchement à instruction associée (B)
> Effectuer l'opération associée à condition vérifiée (A) et branchement après opération pour faux
> Effectuer l'opération (C)

63

Programmation en assembleur

- Structures de contrôle en langage machine
  - Exemple d'alternative:



1. **Évaluation de la condition** x = y
2. **Si faux branchement à instruction associée** x ← x - y
3. **Si vrai:**
   1. effectuer l'opération associée à condition vérifiée x ← x + y
   2. brancher après opération pour faux
4. **Dans tous les cas, effectuer l'opération non conditionnelle** x ← x . y

```
        CMP   x,y
        BNE   diff      ; si≠
        ADD   x,y       ; si =
        JMP   suite
diff:   SUB   x,y
suite:  MULU  x,y
```

64

Programmation en assembleur

- Structures de contrôle en langage machine
  - Remarque:
    - > limitations de notre simulateur: contraintes sur les types d'opérandes des instructions

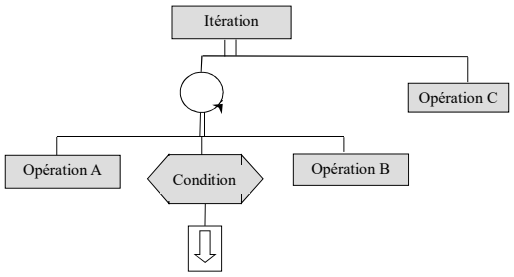
```
        CMP    x,y    Variables ≠ RG ou [RG]
        BNE    diff          ; si≠
        ADD    x,y           ; si =
        JMP    suite
diff:   SUB    x,y
suite:  MULU   x,y
```

  - Nouvelle version du code

```
        LD     R0,x
        CMP    R0,y
        BNE    diff          ; si≠
        ADD    R0,y          ; si =
        JMP    suite
diff:   SUB    R0,y
suite:  MULU   R0,y
        ST     R0,x
```


Programmation en assembleur

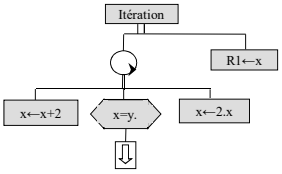
- Structures de contrôle en langage machine
  - Itération:



> Première opération de la boucle (A)
> Évaluation de la condition de sortie
> Branchement de sortie si condition de sortie vérifiée
> Autrement:
> autres opérations (B)
> Branchement à boucle
> Opération associée à la sortie de la boucle (C)

Programmation en assembleur

- Structures de contrôle en langage machine
  - Exemple d'itération:



1. **Première opération de la boucle** x ← x +2
2. **Evaluation de la condition de sortie** x = y
3. **Branchement si condition de sortie vérifiée** (vers R1←x)
4. **Autrement:**
   1. Autres opérations x ← 2.x
   2. Branchement à boucle (vers x←x+2)
5. **Opération associée à la sortie de la boucle** R1 ← x

```
boucle:   ADD    x,2
          CMP    x,y
          BEQ    sortie        ; si =
          MULU   x,2           ; si ≠
          JMP    boucle
sortie:   LD     R1,x
```


Programmation en assembleur

- Structures de contrôle en langage machine
  - limitations de notre simulateur: contraintes sur les types d'opérandes des instructions

```
boucle:   ADD    x,2     Variables ≠ RG ou [RG]
          CMP    x,y
          BEQ    sortie        ; si =
          MULU   x,2           ; si ≠
          JMP    boucle
sortie:   LD     R1,x
```

  - Nouvelle version du code

```
          LD     R0,x
boucle:   ADD    R0,2
          CMP    R0,y
          BEQ    sortie        ; si =
          MULU   R0,2          ; si ≠
          JMP    boucle
sortie:   LD     R1, R0
          ST     R0,x
```

Programmation en assembleur

- Manipulation d'adresse et pointeurs
  - Accès aux variables:
    - > Directement: nom ⇔ adresse
      - – Exemple 1:

```
LD  R0,25        ; R0←25
ST  R0,total     ; total←R0
```

donc 25 dans total
Accès direct et par registre

    - > Indirectement:
      - – adresse ⇔ pointeur
      - – [Reg]: Reg = registre contenant l'adresse de la variable
      - – Exemple 2:

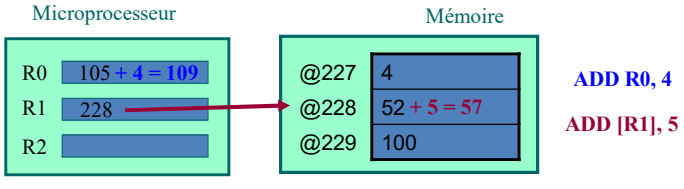
```
LEA  R1,total    ; R1←@ de total
LD   [R1],25     ; variable dont l'@ est dans R1←25
```

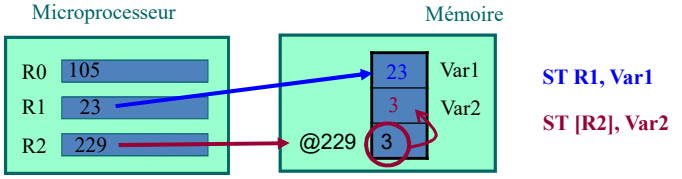
donc 25 dans total comme exemple 1
Mais accès indirect

69

Programmation en assembleur

- Manipulation d'adresse et pointeurs
  - Différence entre les deux modes d'accès:





70

Programmation en assembleur

- Manipulation d'adresse et pointeurs
  - Exemple 3: copie de var 1 dans var2

> Première version:

```
LD   R0, var1      ; R0 ← var1
ST   R0, var2      ; var2 ← R0
```

} accès direct et par registre

> Seconde version:

```
LEA R1, var1       ; R1 ← @ de var1
ST   [R1], var2    ; var2 ←variable dont l'@ est dans R1
```

} accès indirect

> Troisième version

```
LEA R1, var1       ; R1 ← @ de var1
LEA R2, var2       ; R2 ← @ de var2
LD    [R2], [R1]   ; var dt @ ds R2 ← var dt @ ds R1
```

} accès indirect

71

Programmation en assembleur

- Manipulation d'adresse et pointeurs
  - Intérêt des pointeurs: accès à des variables composées:
    > Enregistrements
    > Tableaux
  - Exemples:
    > Coordonnées d'un point (2 entiers)
    – Déclaration:

```
Coord DSW 2          ; taille=2 mots mémoire (2x32 bits)
```

    – Initialisation à (10,40):

```
LEA R0,coord         ; adresse de coord dans R0
LD [R0],10           ; variable dont @ dans R0← 10
LD [R0+1],40         ; variable dont @-1 dans R0← 40
```

72

Programmation en assembleur

- Manipulation d'adresse et pointeurs
  - Attention à la notation:

[R0] variable dont l'adresse est contenue dans R0

[R0+1] variable dont l'adresse est celle contenue dans R0 à laquelle on rajoute 1

NB: il aurait été plus logique de noter [R0]+1 mais le code aurait été illisible

73

Programmation en assembleur

- Manipulation d'adresse et pointeurs
  - Attention à la notation:

[R0] variable dont l'adresse est contenue dans R0

[R0+1] variable dont l'adresse est celle contenue dans R0 à laquelle on rajoute 1

NB: il aurait été plus logique de noter [R0]+1 mais le code aurait été illisible

74

Programmation en assembleur

- Manipulation d'adresse et pointeurs
  - Systèmes d'exploitation

> Pointeurs utilisés par systèmes d'exploitation:
- Processus
- Fichiers
- Mémoire

> Utilisation de structures de données très complexes
- Ex: tableau de pointeurs vers d'autres tableaux ….

75

Programmation en assembleur

- Manipulation d'adresse et pointeurs
  - Tableaux utilisés par les systèmes d'exploitations:

> Élément:
- variables de type enregistrement
- certains champs de l'enregistrement: pointeurs

> Exemple d'élément de tableau pour un processus:
- n° du processus: PID Process Identifier
- n° de l'utilisateur: UID User Identifier
- adresse de l'instruction à exécuter
- tableau de n éléments (sauvegarde registres)

> Accès à cet élément par un pointeur:
- n+4 pour accéder à l'élément suivant
- accès par déplacement : +1 UID, +2 adresse

76

Programmation en assembleur

- Manipulation d'adresse et pointeurs
  - Exemple d'utilisation de tableaux:

Comment récupérer le 40ème élément du 12ème tableau ?

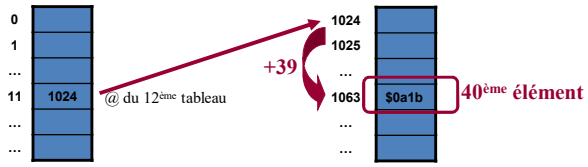


Tableau A: tableau d'adresse 12 ème Tableau

R0 | 0 | R1 | 1024 | R2 | $0a1b

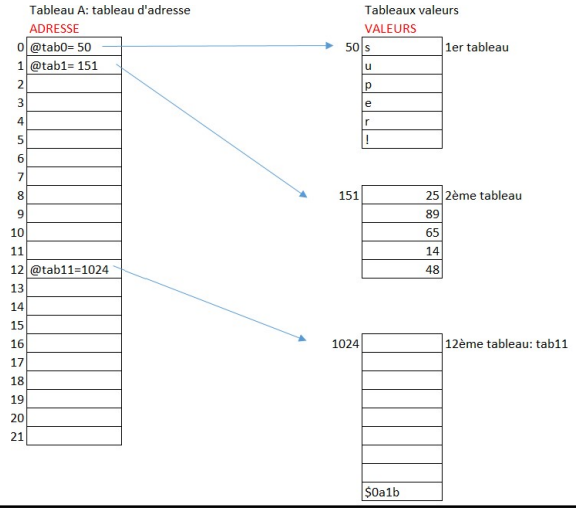
```
LEA   R0,TA          ; R0← adresse de TA le tableau A

LD    R1, [R0+11]    ; R1← variable dont @ dans R0+11
                       R1 contient l'adresse du tableau 12

LD    R2,[R1+39]     ; R2 ← variable dont @-39 dans R1
```

77

Programmation en assembleur

- Manipulation d'adresse et pointeurs
  - Exemple d'utilisation de tableaux:

Comment récupérer le 40ème élément du 12ème tableau ?



78

Programmation en assembleur

- A partir d'un algorithme

1. Identifier les instructions nécessaires à la réalisation de l'algorithme
2. Identifier les contraintes syntaxiques liées à ces instructions (types d'opérandes)
3. Rajouter les lignes de code permettant de respecter ces contraintes (transfert de données de ou vers des registres)

Programmation en assembleur

- EXERCICE 1 : Calcul de moyenne
  - Objectif:
    > écrire un programme en assembleur qui calcule la moyenne des nombres entrés dans un tableau.
    > tableau = suite de mots mémoires qui se terminent par un mot contenant la valeur 0.

1. Partie du code dans .DATA :
   > déclarer la variable moyenne appelée moy
   > initialiser à 0

Programmation en assembleur

- EXERCICE 1 : Calcul de moyenne

2. Partie du code dans .DATA :

>déclarer la variable tableau T

>initialiser à 3-6-7-4-2 (0 marquant la fin du tableau)

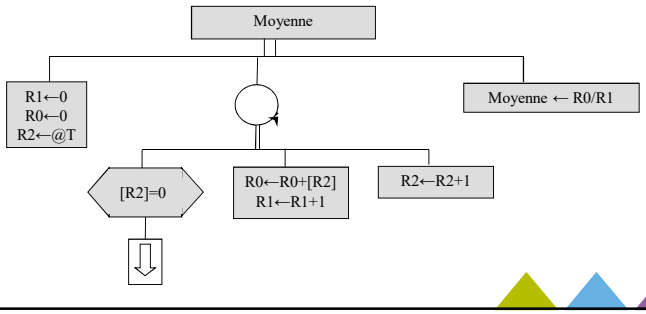
81

Programmation en assembleur

- EXERCICE 1 : Calcul de moyenne

2. Partie du code dans le .CODE: calcul de la moyenne (pas de procédure)
   - > R0: valeur courante de la somme des nombres
   - > R1: nombre courant de chiffres pris en compte
   - > R2: pointeur sur le tableau

Algorithme



82

Programmation en assembleur

- EXERCICE 1 : Calcul de moyenne
  3. Partie du code dans le .CODE: calcul de la moyenne (pas de procédure)

Programmation en assembleur

- EXERCICE 1 : Calcul de moyenne
  3. Partie du code dans le .CODE: calcul de la moyenne (pas de procédure)

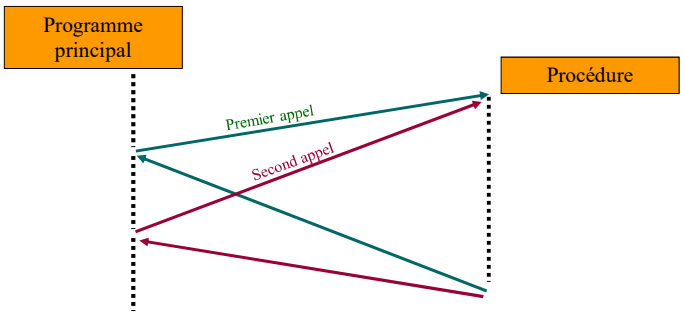
Plan du cours

- Introduction
- Modèle de microprocesseur
- Programmation en assembleur
- Procédures et fonction
- Programmation avancée

85

Procédures et fonctions

- Définitions
  - Principe:
    - > Morceau de code exécutable à la demande
    - > Transmission de paramètres
    - > Restitution d'une valeur si besoin
  - Intérêt: réutilisation d'un morceau de code à différents endroits du programme

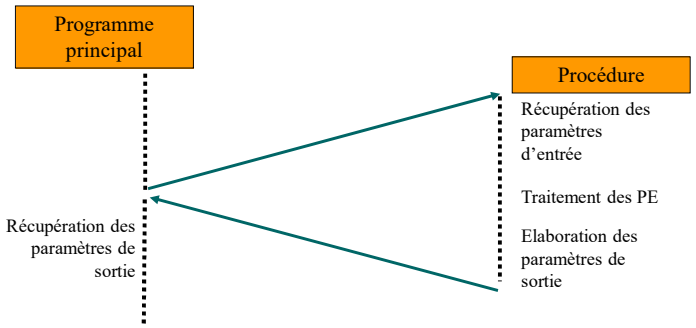


86

Procédures et fonctions

▶Gestion du contexte

- Gestion des paramètres:

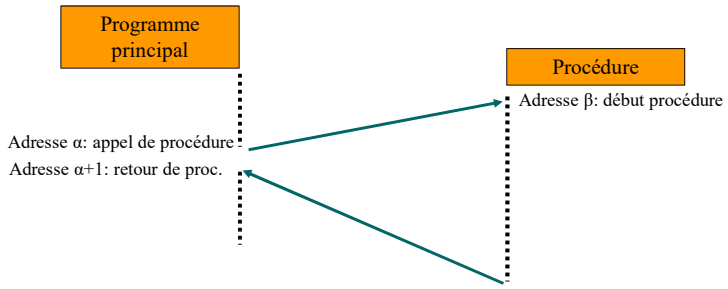


87

Procédures et fonctions

▶Gestion du contexte

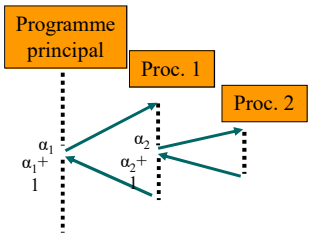
- Appel de procédure:
  - > quitter programme en cours
  - > exécuter procédure
  - > revenir au programme là où on l'a laissé
  - ⇒ nécessité de conserver l'adresse de retour
- Exemple:



88

Procédures et fonctions

- Gestion du contexte
  - Solutions:
    - > Registre spécial contenant l'adresse de retour
    - ⇒ pb: impossible d'appeler la procédure dans la procédure
    - > Mémorisation de l'adresse de retour dans une structure de données adéquate: *laquelle?*



Structure de donnée de mémorisation des adresses:

Entrée: α_1 α_2

Sortie: α_2 α_1

> Retour à l'adresse la plus récemment mémorisée

> Last in, First out LIFO PILE

Procédures et fonctions

- Gestion du contexte
  - Gestion de pile:

> Registre spécial SP:
- SP: Sommet de pile
- 1ère entrée occupée

> Réservation de place mémoire pour la pile:
- directive: **.STACK taille**
- **fin de code**

> Initialisation du registre SP sur le début de la pile:
- instruction: **LEA SP,STACK**
- en début de code
- STACK en majuscule

Procédures et fonctions

- Programme
  - Squelette du programme:
    - **DATA**
      déclaration des variables et constantes
    - **CODE** ; CO initialisé sur l'instruction qui suit .CODE

      LEA SP,STACK
      écriture du code
    - **STACK taille**
      réservation de place pour la pile

Rq: *possibilité d'utiliser une instruction HLT pour arrêter le processeur en fin de programme*

Procédures et fonctions

- Programme
  - Utilisation de deux registres pour désigner le début et la fin de la pile par certains processeurs:
    - > Possibilité de détecter les débordements
    - > En veillant à ne pas:
      - – Dépiler une pile déjà vide
      - – Empiler dans une pile déjà pleine
    - > Possibilité d'arrêter les programmes en cours comme dans certains systèmes d'exploitation
  - Cas de notre simulateur: bonne gestion de la pile de la responsabilité du programmeur

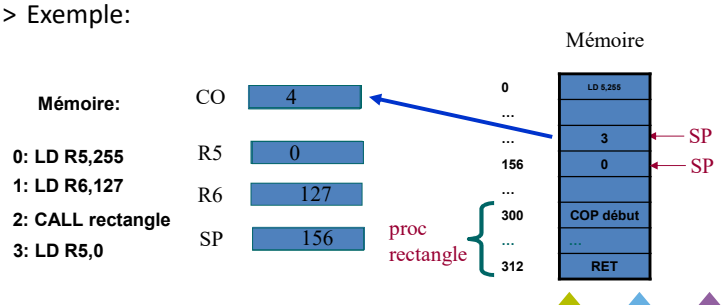
Procédures et fonctions

- Instructions dédiées
  - Instruction de type rupture de séquence pour les procédures:
    - > Appel: **CALL étiquette**
      - – empile l'adresse de retour
        - SP ← SP-1
        - [SP] ← CO
      - – Branche à la procédure ≈ JMP étiquette (@ de la procédure dans le CO)
    - > Exemple:

93

Procédures et fonctions

- Instructions dédiées
  - Instruction de type rupture de séquence pour les procédures:
    - > Retour: **RET**
      - – dépile l'adresse de retour
        - CO ← [SP]
        - SP ← SP+1
      - – A n'utiliser qu'une seule fois dans une procédure sinon:
        - 1ère fois: @ de retour dans CO
        - 2ème fois: valeur inconnue placée dans CO
    - > Exemple:



94

Procédures et fonctions

- Méthode de programmation
  - Inconvénients liés aux procédures:
    - > double accès aux registres de la machine et aux registres de variables globales:
      - – depuis le programme
      - – depuis les procédures
    - > danger: modification par la procédure d'un registre utilisé par le programme qui l'appelle

      $\Rightarrow$ perte de données
  - Exemple:

```
          LD      R0,20     ; R0 ← 20  nombre d'itération
Boucle:   CALL    calcul    ; appel de la procédure calcul qui
                            ; utilise R0 (R0← 356)
          DEC     R0        ; R0 ← R0-1=355
          CMP     R0,0      ; comparaison de 355 au lieu de 20 avec 0
          BNE     boucle    ; si R0 ≠ 0 on boucle
```

Conclusion: perte du nombre de répétition de la boucle (infini)

95

Procédures et fonctions

- Méthode de programmation
  - Solution 1:
    - > utiliser des registres différents pour les procédures et pour le programme principal
    - > problématique:
    - > nombre limité de registres
    - > spécialisation de certains registres pour instructions
    - > difficulté alors de réutilisation: appel de procédures écrites par d'autres (primitives du système d'exploitation)

96

Procédures et fonctions

- Méthode de programmation
  - Solution 2:

> Sauvegarder les registres en début de procédure et les restituer à la fin

> Hypothèse : sauvegarde dans des variables
- Trop de variables
- Impossible de s'assurer que chaque procédure utilise des variables différentes
- Interdit la récursivité

⇒Impossible

> Conclusion:

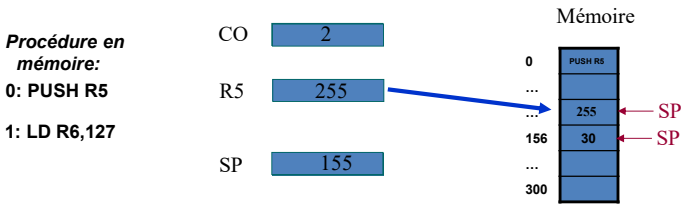
Utilisation de la pile pour sauvegarder les registres
- début de procédure: empilage des registres
- fin de procédure: dépilage des registres

97

Procédures et fonctions

- Méthode de programmation
  - Instructions:

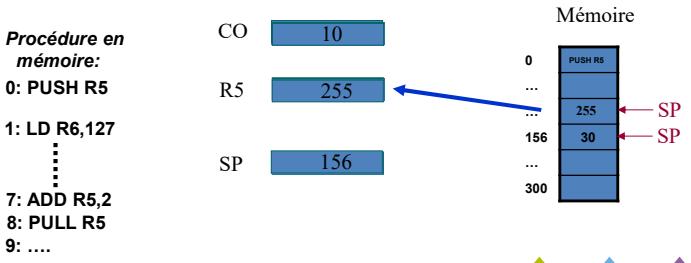
> Empiler:
- **PUSH oper** ; empiler oper
- Réalise:
  - SP ← SP-1
  - [SP] ← oper
- Exemple



98

Procédures et fonctions

- Méthode de programmation
  - Instructions:
    - > Dépiler:
      - – **PULL oper** ; dépiler oper
      - – Réalise:
        - oper ← [SP]
        - SP ← SP+1
      - – oper: Var, RG, [RG], [RG+d]



99

Procédures et fonctions

- Méthode de programmation

  - Nécessité de prévoir une taille de pile suffisante:
    - > Stocker les adresses de retour
    - > Stocker les sauvegardes de registres

  - Pour certains microprocesseurs:
    - > existence d'instructions pour empiler et dépiler tous les registres
    - > en pratique inutile: aucun procédure n'utilise tous les registres

  - Variable locale des langages de programmation:
    - > Utilisation de la pile
    - > Mécanisme:
      - – début de procédure: réservation d'espace mémoire dans la pile pour ces variables
      - – fin de procédure: libération de cet espace

100

Procédures et fonctions

- Passage de paramètres
  - Passage de paramètres à une procédure dans les langages habituels:

    > par valeur :
    - en entrée
    - pas de possibilité de modification

    > par référence:
    - en entrée et sortie
    - possibilité de modification

  - Ici étude du passage de paramètres en langage machine

Procédures et fonctions

- Passage de paramètres
  - Passage de paramètres par valeur :

    > avant l'appel de la procédure: valeur placée dans un registre
    - utilisation du registre par la procédure: modification possible du registre mais valeur du paramètre inchangée
    - exemple

```
LD      R0,param        ; R0 ← param
CALL    calcul          ; paramètre d'entrée dans R0
```

    > avant l'appel de la procédure: valeur placée dans la pile
    - utilisation de la pile par la procédure: modification possible de la pile mais valeur du paramètre inchangée
    - Exemple

```
PUSH    param   ; SP ← SP-1 et [SP] ← param
CALL    calcul  ; paramètre d'entrée dans pile
```

Procédures et fonctions

- Passage de paramètres
  - Passage de paramètres par référence :
    - > avant l'appel de la procédure: adresse du paramètre placée dans un registre
      - – procédure: accès au paramètre par indirection
      - – exemple:
        - LEA R0, param
        - CALL calcul ; adresse du paramètre dans R0
    - > avant l'appel de la procédure: adresse placée dans la pile
      - – utilisation de la pile par la procédure
      - – exemple:
        - LEA R0, param
        - PUSH R0
        - CALL calcul ; adresse du paramètre dans pile via R0

103

Procédures et fonctions

- Passage de paramètres
  - Passage de paramètres à une procédure en langage machine:
    - > par registre:
      - – plus rapide
      - – limité en nombre et en taille des registres
    - > par pile:
      - – pas de limite en nombre et en taille
      - – utilisé par les compilateurs

104

Procédures et fonctions

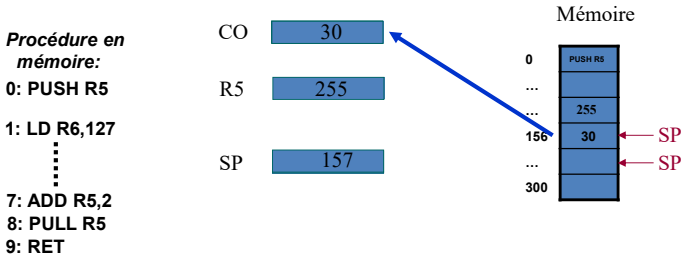
- Passage de paramètres
  - Retour de la valeur d'une fonction: retour d'une unique valeur

  ⇒ différent du cas des procédures
  - > utilisation d'un registre: plus simple
  - > (pile: plus compliqué, pas rentable pour une seule valeur)

  - Utilisation de l'instruction: RET ou RET n
    - > retour avec vidage de la pile de n mots
    - > RET: (exemple diapo suivante)
      - CO ← [SP]
      - SP ← SP+1
    - > RET n: (exemple diapo 111)
      - CO ← [SP]
      - SP ← SP+n+1

Procédures et fonctions

- Passage de paramètres
  - Exemple pour RET:
    - >CO ← [SP]
    - >SP ← SP+1



Procédures et fonctions

- Ecriture du programme
  - Quelle est l'écriture finale d'une procédure/fonction?

> Exemple de la fonction calcul (a,b): a ← a+2.b

> Etude pour:
- Passage des paramètres par valeur
  - Par registre
  - Par la pile
- Passage des paramètres par références
  - Par registre
  - Par la pile

> Objectif: définir la structure d'écriture d'une procédure/fonction

Procédures et fonctions

- Ecriture du programme
  - Passage des paramètres par valeur

> Par registre:
- Paramètres:
  - a dans R0
  - b dans R1
  - Valeur retournée par R0
- Programme:

```
                LD      R0, a    ; 1er paramètre
                LD      R1, b    ; 2ème paramètre
                CALL    calcul   ; appel de la fonction
```

- Procédure:

```
Calcul:  ADD    R0,R1
         ADD    R0,R1
         RET             ; retour de sous-prog
```

Procédures et fonctions

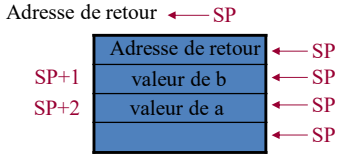
- Ecriture du programme
  - Passage des paramètres par valeur
    - > Par la pile:
      - Programme:

```
        PUSH    a       ; 1er paramètre
        PUSH    b       ; 2ème paramètre
        CALL    calcul  ; appel de la fonction
        ST      R0,a
```

      - Procédure:

```
Calcul: LD      R0,[SP+2]       ; R0 ← a
        ADD     R0,[SP+1]       ; ajout de b
        ADD     R0,[SP+1]       ; ajout de b
        RET
```

      - Etat de la pile:

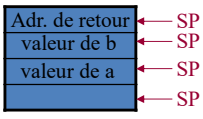


109

Procédures et fonctions

- Ecriture du programme
  - Passage des paramètres par valeur
    - > Par la pile:
      - Inconvénient:
        - Pile non vide en fin de procédure (2 paramètres)
        - Remplissage progressif de la pile
        - Danger de débordement
      - Solution:
        - Programme appelant fait ADD SP,2 après l'appel de la procédure (vidage de la pile)
        - Utilisation par certains processeurs de RET n
      - Nouveau code de la procédure

```
Calcul: LD      R0,[SP+2]       ; R0 ← a
        ADD     R0,[SP+1]       ; ajout de b
        ADD     R0,[SP+1]
        RET 2
```



Pile vide au moment du retour au programme

Procédures et fonctions

- Ecriture du programme
  - Passage des paramètres par référence
    - > Par registre:
      - Paramètres:
        - Adresse de a dans R0 (par référence)
        - b dans R1 (par valeur)
        - Résultat dans a (donc adresse de a en donnée)
      - Programme:

```
                LEA     R0, a     ; adresse de a dans R0
                LD      R1, b     ; 2ème paramètre
                CALL    calcul    ; appel de la fonction
```

      - Procédure:

```
Calcul:  ADD    [R0],R1  ; a ← a + b
         ADD    [R0],R1
         RET              ; retour de sous-prog
```

Procédures et fonctions

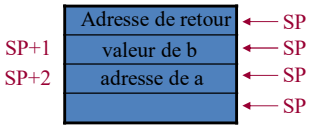
- Ecriture du programme
  - Passage des paramètres par référence
    - > Par la pile:
      - Programme:

```
                LEA     R0,a      ; R0 ← adresse de a
                PUSH    R0        ; 1er paramètre
                PUSH    b         ; 2ème paramètre
                CALL    calcul    ; appel de la fonction
```

      - Procédure:

```
Calcul:  LD     R0,[SP+2]        ; R0 ← adresse de a
         ADD    [R0],[SP+1]      ; ajout de b
         ADD    [R0],[SP+1]      ; ajout de b
         RET    2
```

      - Etat de la pile:



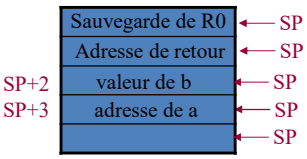
Procédures et fonctions

- Ecriture du programme
  - Passage des paramètres par référence
    - > Par la pile:
      - – Plus de retour de valeur par la procédure: modification directe de a

        (version précédente: retour de résultat dans R0)

        ⇒ Aucune raison de modifier R0 car ne sert pas à renvoyer le résultat au programme principal

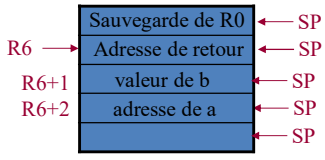
        ⇒ Nécessité de sauvegarder R0
      - – Nouveau code de la procédure:




```
Calcul: PUSH   R0
        LD     R0,[SP+3]
        ADD    [R0],[SP+2]
        ADD    [R0],[SP+2]
        PULL   R0
        RET    2
```

Procédures et fonctions

- Ecriture du programme
  - Passage des paramètres par référence
    - > Par la pile:
      - – Problème: décalage des références dans la pile à chaque sauvegarde d'un nouveau registre
      - – Solution:
        - Accès à la pile par une copie de SP et non SP
        - Copie de SP faite en début de procédure avant la sauvegarde des registres
      - – Nouveau code de la procédure:




```
Calcul: LD     R6, SP
        PUSH   R0
        LD     R0,[R6+2]
        ADD    [R0],[R6+1]
        ADD    [R0],[R6+1]
        PULL   R0
        RET    2
```

Procédures et fonctions

- Ecriture du programme
  - Passage des paramètres par référence

> Par la pile:

– Problème: modification de R6 sans l'avoir sauvegardé avant

– Solution:

- Sauvegarde de R6 au début de la procédure

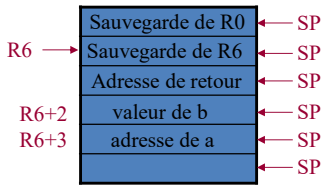
$\Rightarrow$ décalage de 1 dans la pile $\forall$ le nombre de registres sauvegardés dans la pile

Procédures et fonctions

- Ecriture du programme

> Forme finale de l'écriture d'une fonction/procédure avec passage des paramètres par référence:

```
Calcul:   PUSH   R6
          LD     R6, SP
          PUSH   R0
          LD     R0,[R6+3]
          ADD    [R0],[R6+2]
          ADD    [R0],[R6+2]
          PULL   R0
          PULL   R6
          RET    2
```

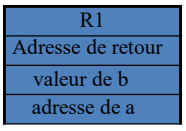


Procédures et fonctions

- Ecriture du programme
  - En TD: Utilisation d'une version simplifiée du passage des paramètres par référence par la pile

Pas de copie du pointeur de pile

```
.DATA
        a DW 5          ;déclaration des variables et constantes
        b DW 6
.CODE                   ;écriture du code
        LEA SP,STACK
        LEA R0,a
        PUSH R0
        PUSH b
        CALL Calcul     ;appel de la procédure
        HLT
                        ;code de la procédure
Calcul: PUSH R1
        LD R1,[SP+3]    ; R1= @ de a
        ADD [R1],[SP+2] ;  a'=a+b
        ADD [R1],[SP+2] ; a''= a'+b= 2a+b
        PULL R1
        RET2
.STACK 4
```



Procédures et fonctions

- Test d'un programme
  - Définition:

    "Processus d'analyse d'un programme avec l'intention de détecter des anomalies dans le but de le valider"

    (Fornari IRIT)

  - Tester un logiciel = valider sa conformité par rapport à des exigences.

  - Types de test:
    - > Fonctionnels: conformité à la spécification
    - > Non-fonctionnels: conformité en matière de configuration, de compatibilité, de documentation,
    - > Structurels: codage correct ?

  - Coût du test: 30 à 40% du coût de développement au minimum

Procédures et fonctions

- Test d'un programme
  - Principes de base:
    - > Indépendance: tester par quelqu'un d'autre que le programmeur
    - > Paranoïa: un test doit retourner erreur par défaut (partir de l'hypothèse qu'il y a une erreur) et forcer à retourner ok
    - > **Prédiction: définir les sorties/résultats attendus à partir des spécifications et avant l'exécution des tests.**
    - > Vérification: inspection minutieuse des résultats de chaque test.
    - > Robustesse: tests avec des jeux valides, invalides et incohérents
    - > Complétude: vérifier ce que fait le programme lorsqu'il n'est pas supposé le faire (jeux incohérents de données)

Procédures et fonctions

- Test d'un programme
  - Correction de bug:
    - > vérifier que le test est bien correct
    - > vérifier que le problème n'est pas déjà répertorié
    - > établir un rapport de bug
      - – donner un synopsis succinct et précis
      - – donner une description claire, avec tous les détails de reproduction du bug
      - – si possible, essayer de réduire l'exemple.

Procédures et fonctions

- Test d'un programme
  - Test et correction de bug avec notre simulateur:
    - > Coder
    - > Définir le test validant le programme
    - > Compiler le programme
    - > L'exécuter en vitesse rapide sans pas à pas
    - > Voir si le test est réussi
    - > Sinon, l'exécuter en pas à pas à vitesse rapide:
      - avant de réaliser une instruction, définir ce qui en est attendu
      - Exécuter cette instruction et vérifier le résultat obtenu
    - > Si l'erreur n'est pas identifiée avant la fin du programme, exécuter en pas à pas à vitesse lente:
      - Avant chaque instruction, définir les lectures et écritures qu'elle devrait réaliser
      - Exécuter en pas à pas à vitesse lente et vérifier chaque lecture (en vert dans le simulateur) ou écriture (en rouge)

Procédures et fonctions

- Exercice d'application 2: fonction XOR

  - Objectif:
    - > Calcul du résultat du XOR, OU EXCLUSIF, entre deux nombres binaires.
    - > Utilisation d'une procédure.

  1. Partie du code:
     - > déclarer les variables A, B et f
     - > les initialiser à 0.

Procédures et fonctions

- Exercice d'application 2: fonction XOR
  2. Code de la procédure lorsque le passage des valeurs des paramètres se fait grâce aux registres suivants :

  R0 pour A R1 pour B R3 pour f

Procédures et fonctions

- Exercice d'application 2: fonction XOR
  3. Programme appelant cette procédure.

Procédures et fonctions

- Exercice d'application 2: fonction XOR
  3. Intégralité du code du programme lorsque le passage des paramètres se fait par la pile.

Programmation avancée d'un µp

- Entrées Sorties
  - Unité d'échange (U.E.): constituée de contrôleurs de périphériques
  - Contrôleur:
    > pilote un ou plusieurs périphériques
    > deux visions:
    > ensemble de registres appelés PORTS qui sont accessibles par des instructions spéciales
    > mots en mémoire avec une adresse
  - UE:
    > registres de contrôles: pilotage des périphériques
    > registres d'état: surveillance des périphériques
    > registres de données: communication avec les périphériques

Programmation avancée d'un µp

▶ Entrées Sorties

- UE du Simulateur:
  - > 8 registres de 8 bits correspondant aux n° de ports 0 à 7
  - > UE:
    - connaître l'état des touches
    - dessiner ou écrire dans la fenêtre graphique du périphérique
    - détecter les mouvements et les clics de souris dans la zone graphique de l'écran du périphérique
  - > 2 instructions:
    - **IN oper, port** ; oper ← octet du registre de l'UE désigné par son n°
    - **OUT oper, port** ; octet du registre de l'UE désigné par son n° ← oper
    - Oper: RG ou [RG] sur 8 bits (plus faible poids)
    - Port: entier naturel désignant le n° de port de l'UE

Programmation avancée d'un µp

▶ Entrées Sorties

- Clavier:
  - > Port 0 = registre d'état et de données

Etat du clavier		Numéro de la touche					
bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0

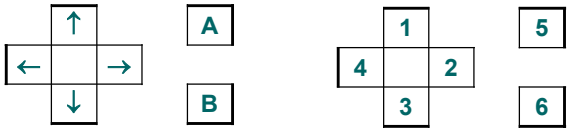
- Etat du clavier:
  - > Action qui a eu lieu sur le clavier depuis la dernière fois que le port 0 a été lu
  - > Lecture du port 0 ⇒ remise à 0 (de B7 – B0)

00	aucune action
11	une touche appuyée
10	une touche relâchée

  - > B7: une action? B6: laquelle?

Programmation avancée d'un µp

- Entrées Sorties
  - Simulateur:
    - > Clavier:
      - – N° de la touche sur B5 – B0:



    - > Souris:
      - – Port 0 pour l'état:
        - appui sur bouton souris = appui touche n°7
        - remise à 0 après lecture de son contenu
      - – Port 6 et 7 pour les données:
        - en permanence les coordonnées de la souris
        - en x: port 6, en y: port 7

Programmation avancée d'un µp

- Entrées Sorties
  - Simulateur:
    - >Ecran:
      - –Ports 1 à 5
        - Ports 1 à 4:
          - registres de données
          - paramètres de l'opération à exécuter
        - Port 5:
          - registre de commande
          - opération à exécuter

Couleur du tracé				Commande à exécuter			
bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0

Programmation avancée d'un µp

- Entrées Sorties
  - Simulateur:
    - > Ecran:
      - – Commandes graphiques (voir guide de programmation):
        - 0000 : effacer l'écran
        - 0001 : tracer le point
          Port1: x
          Port2: y
          Couleur: 4 bits *Couleur de tracé*.
        - tracer une ligne (ports 1, 2, 3 et 4)
        - tracer un rectangle (ports 1, 2, 3 et 4)
        - tracer un ovale (ports 1, 2, 3 et 4)
        - tracer un rectangle plein (ports 1, 2, 3 et 4)
        - tracer un ovale plein (ports 1, 2, 3 et 4)
        - écrire un caractère ASCII (ports 1, 2, 3)

Programmation avancée d'un µp

- Entrées Sorties
  - Simulateur:
    - >Méthode de tracé

1. Paramétrage du tracé sur les ports 1, 2, 3, 4 selon la définition des commandes graphiques

2. Envoi de la commande de tracé sur le port 5 :
   - Couleur sur les bits de fort poids
   - Figure sur les bits de faible poids

Programmation avancée d'un µp

- Entrées Sorties
  - Simulateur:
    - > Exemple de tracé d'un rectangle bleu clair à l'écran:
      - Port 1: coordonnée en x du coin supérieur gauche
      - Port 2: coordonnée en y du coin supérieur gauche
      - Port 3: largeur
      - Port 4 : hauteur
      - Port 5: commande graphique 0011 et couleur 0101

```
LD      R0,200
OUT     R0,1    ;x
LD      R0,100
OUT     R0,2    ; y
LD      R0,20   ;
OUT     R0,3    ;largeur
LD      R0,80
OUT     R0,4    ;hauteur
LD      r0,$53  ; rectangle bleu soit 0101 0011
OUT     R0,5
```

133

Programmation avancée d'un µp

- Entrées Sorties
  - Exercice d'application

134

Place à la programmation en assembleur…