Jeu d'instructions et modes d'adressage MIPS

MIPS : Introduction

- Architecture (0,3) typique d'une machine RISC

MIPS : Introduction

- Architecture (0,3) typique d'une machine RISC
- Développé fin des années 90, à partir des travaux de John L. Hennessy

MIPS : Introduction

- Architecture (0,3) typique d'une machine RISC
- Développé fin des années 90, à partir des travaux de John L. Hennessy
- Implémentations actuelles : MIPS32 et MIPS64

32 registres

Registres généraux :

Nom	Numéro de registre	Usage
`$zero`	0	Dédié à la constante 0
`$v0–$v1`	2–3	Dédié à l'évaluation des expressions
`$a0–$a3`	4–7	Stockage des arguments lors des appels de fonctions
`$t0–$t7`	8–15	Registres temporaires
`$s0–$s7`	16–23	Registres sauvegardés
`$t8–$t9`	24–25	Registres temporaires supplémentaires
`$gp`	28	Pointeur global
`$sp`	29	Pointeur de pile
`$fp`	30	Pointeur de "frame"
`$ra`	31	Pointeur d'adresse retour

32 registres

Registres généraux :

Nom	Numéro de registre	Usage
`$zero`	0	Dédié à la constante 0
`$v0–$v1`	2–3	Dédié à l'évaluation des expressions
`$a0–$a3`	4–7	Stockage des arguments lors des appels de fonctions
`$t0–$t7`	8–15	Registres temporaires
`$s0–$s7`	16–23	Registres sauvegardés
`$t8–$t9`	24–25	Registres temporaires supplémentaires
`$gp`	28	Pointeur global
`$sp`	29	Pointeur de pile
`$fp`	30	Pointeur de "frame"
`$ra`	31	Pointeur d'adresse retour

Registres réservés :

Nom	Numéro de registre	Usage
`$at`	1	Réservé à l'assembleur
`$k0–$k1`	26–27	Réservé au système d'exploitation

Formats d'instruction

Trois formats d'instruction :

- Registre (type R) $\longrightarrow$ instructions UAL

Formats d'instruction

Trois formats d'instruction :

- Registre (type R) $\longrightarrow$ instructions UAL
- Immédiat (type I) $\longrightarrow$ instructions UAL

Formats d'instruction

Trois formats d'instruction :

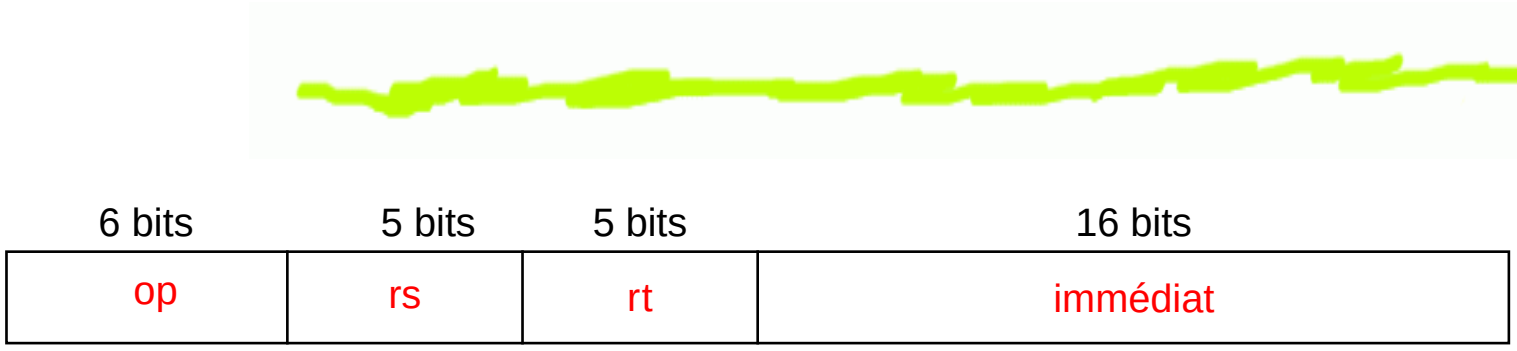
- Registre (type R) $\rightarrow$ instructions UAL
- Immédiat (type I) $\rightarrow$ instructions UAL
- Saut (type J) $\rightarrow$ ruptures de séquence

Format R

6 bits	5 bits	5 bits	5 bits	5 bits	6 bits
op	rs	rt	rd	décal	fonct

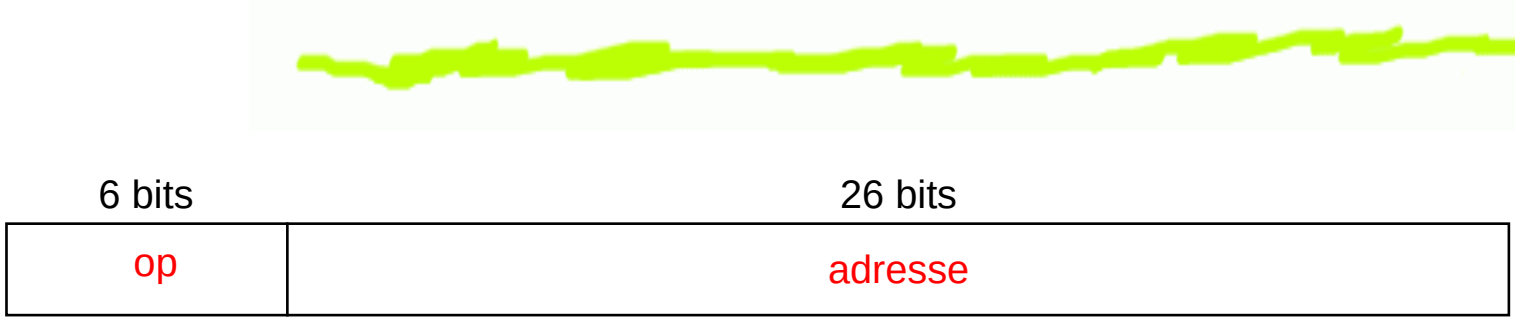
1. op : code opération
2. rs : registre–opérande source
3. rt : registre–opérande source
4. rd : registre–opérande destination
5. décal : décalage
6. fonction : sélectionne la variante de l'opération

Format I



1. op : code opération
2. rs : registre–opérande source ou destination
3. rt : registre–opérande source ou destination
4. immédiat : valeur immédiate

Format J



1. op : code opération
2. adresse : adresse de saut

Addition

1. mémonique : `add`
2. exemple : `add $s1, $s2, $s3`
3. signification : `$s1 = $s2 + $s3`

Addition immédiate

1. mémonique : `addi`
2. exemple : `addi $s1, $s2, 100`
3. signification : `$s1 = $s2 + 100`

Soustraction

1. mémonique : `sub`
2. exemple : `sub $s1, $s2, $s3`
3. signification : `$s1 = $s2 - $s3`

Opérations logiques

1. mémonique : `and`
2. exemple : `and $s1, $s2, $s3;`
3. signification : `$s1 = $s2 & $s3`

1. mémonique : `or`
2. exemple : `or $s1, $s2, $s3`
3. signification : `$s1 = $s2 | $s3`

1. mémonique : `nor`
2. exemple : `nor $s1, $s2, $s3;`
3. signification : `$s1 = ~($s2 | $s3)`

Décalages

1. mémonique : `sll`
2. exemple : `sll $s1, $s2, 10`
3. signification : `$s1 = $s2 « 10`

1. mémonique : `srl`
2. exemple : `srl $s1, $s2, 10`
3. signification : `$s1 = $s2 » 10`

Le champs décalage comptient la valeur de décalage

Chargement

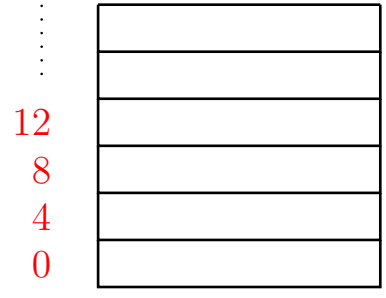
1. mémonique : `lw`
2. exemple : `lw $s1, 100($s2)`
3. signification : `$s1 = Mem[$s2 + 100]`

Rangement

1. mémonique : `sw`
2. exemple : `sw $s1, 100($s2)`
3. signification : `Mem[$s2 + 100] = $s1`

Offset mémoire

L'unité d'adressage–mémoire est l'octet. Puisque instructions et données occupent 32 bits, tous les mots–mémoire sont *alignés* sur des adresses multiples de quatre :



Exemple

Soit l'instruction C : `A[12]=h + A[8];`
avec h associé au registre `$s2`, et l'adresse de base de `A` rangée dans le registre `$s3`.

Exemple

Soit l'instruction C : `A[12]=h + A[8];`
avec h associé au registre `$s2`, et l'adresse de base de `A` rangée dans le registre `$s3`.

```
lw $t0, 32($s3)    # t0 <- A[8]
add $t0, $s2, $t0  # t0 <- h + A[8]
sw $t0, 48($s3)    # A[12] <- h + A[8]
```

Comparaison

1. mémonique : `slt` → *Set on Less Than*
2. exemple : `slt $s1, $s2, $s3`
3. signification : `if ($s2 < $s3) $s1 = 1; else $s1 = 0;`

Comparaison immédiate

1. mémonique : `slti`
2. exemple : `slti $s1, $s2, 100`
3. signification : `if ($s2 < 100) $s1 = 1; else $s1 = 0;`

Branchement conditionnel (=)

1. mémonique : `beq` → *Branch on EQual*
2. exemple : `beq $s1, $s2, Etiquette`
3. signification : `if ($s1 == $s2) goto Etiquette;`

Branchement conditionnel (!=)

1. mémonique : `bne` → *Branch on Not Equal*
2. exemple : `bne $s1, $s2, Etiquette`
3. signification : `if ($s1 != $s2) goto Etiquette;`

Branchement inconditionnel

1. mémonique : `j` $\longrightarrow$ *Jump*
2. exemple : `j Etiquette`
3. signification : `goto Etiquette;`

Exemple

Soit l'instruction C : `while (save[i] == k) i+=1;`
avec `i` et `k` associés au registres `$s3` et `$s5`, et l'adresse de base de `save` rangée dans le registre `$s6`.

Exemple

Soit l'instruction C : `while (save[i] == k) i+=1;`
avec `i` et `k` associés au registres `$s3` et `$s5`, et l'adresse de base de `save` rangée dans le registre `$s6`.

```
Loop:  sll $t1, $s3, 2  # t1 <- 4*i
```

Exemple

Soit l'instruction C : `while (save[i] == k) i+=1;`
avec `i` et `k` associés au registres `$s3` et `$s5`, et l'adresse de base de `save` rangée dans le registre `$s6`.

```
Loop:  sll $t1, $s3, 2     # t1 <- 4*i
       add $t1, $t1, $s6   # t1 <- adresse de save[i]
```

Exemple

Soit l'instruction C : `while (save[i] == k) i+=1;`
avec `i` et `k` associés au registres `$s3` et `$s5`, et l'adresse de base de `save` rangée dans le registre `$s6`.

```
Loop:  sll $t1, $s3, 2     # t1 <- 4*i
       add $t1, $t1, $s6   # t1 <- adresse de save[i]
       lw $t0, 0($t1)      # t0 <- save[i]
```

Exemple

Soit l'instruction C : `while (save[i] == k) i+=1;`
avec `i` et `k` associés au registres `$s3` et `$s5`, et l'adresse de base de `save` rangée dans le registre `$s6`.

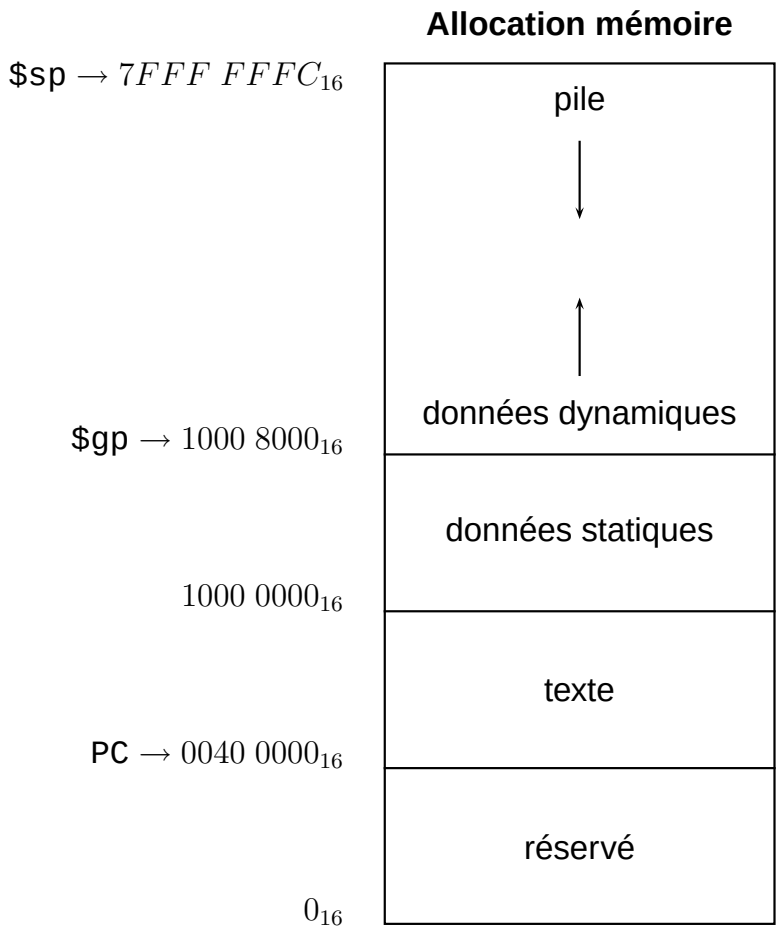
```
Loop:  sll $t1, $s3, 2     # t1 <- 4*i
       add $t1, $t1, $s6   # t1 <- adresse de save[i]
       lw $t0, 0($t1)      # t0 <- save[i]
       bne $t0, $s5, Exit  # goto Exit if save[i]!=k


Exit:                      # sortie de boucle
```

Exemple

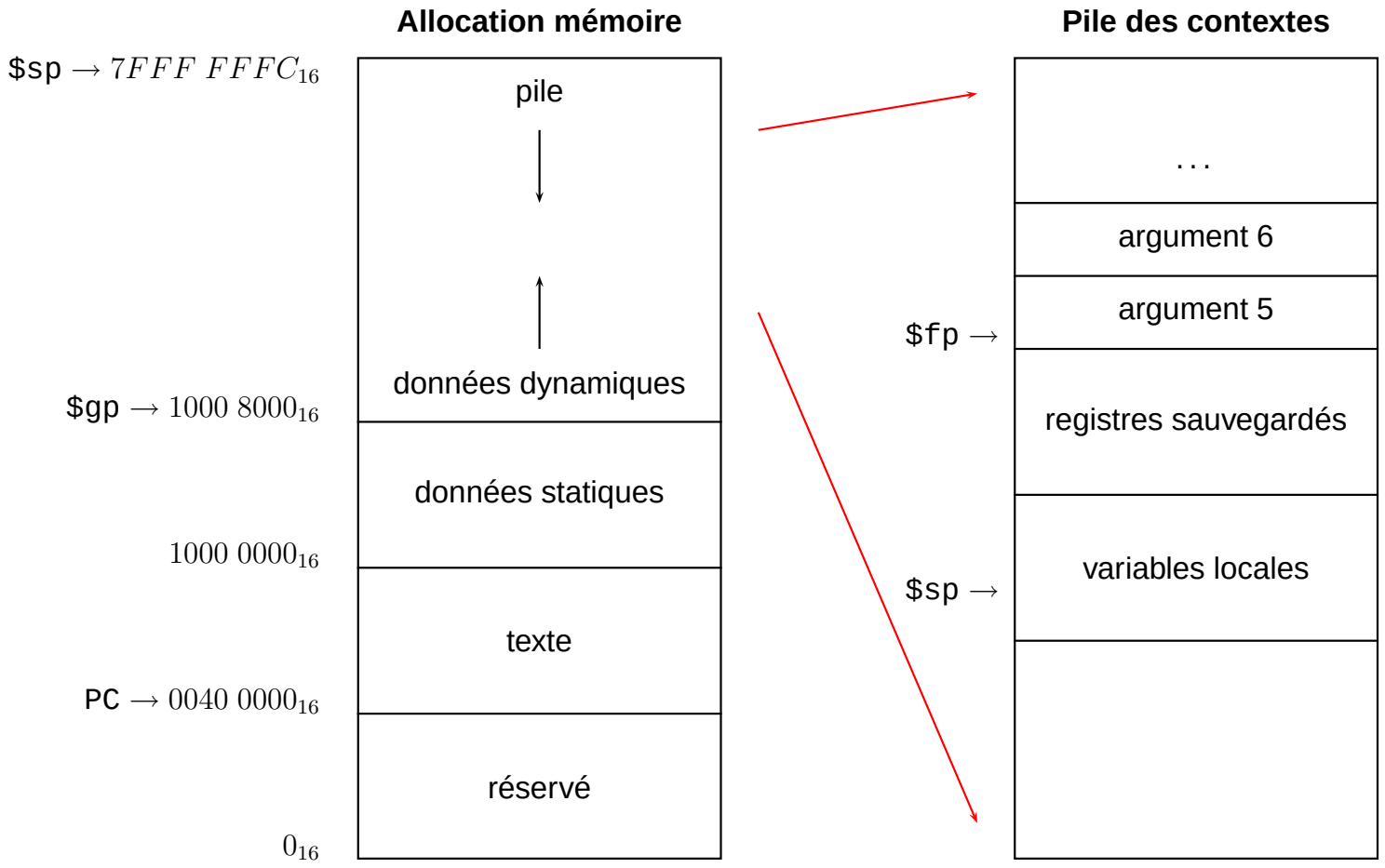
Soit l'instruction C : `while (save[i] == k) i+=1;`
avec `i` et `k` associés au registres `$s3` et `$s5`, et l'adresse de base de `save` rangée dans le registre `$s6`.

```
Loop:  sll $t1, $s3, 2     # t1 <- 4*i
       add $t1, $t1, $s6   # t1 <- adresse de save[i]
       lw $t0, 0($t1)      # t0 <- save[i]
       bne $t0, $s5, Exit  # goto Exit if save[i]!=k
       addi $s3, $s3, 1    # i += 1
       j Loop              # goto Loop
Exit:                      # sortie de boucle
```

Organisation de la mémoire



Organisation de la mémoire



Modes d'adressage MIPS

- Immédiat : l'opérande est une constante contenue dans l'instruction

Modes d'adressage MIPS

- Immédiat : l'opérande est une constante contenue dans l'instruction
- Registre : l'opérande est un registre

Modes d'adressage MIPS

- Immédiat : l'opérande est une constante contenue dans l'instruction
- Registre : l'opérande est un registre
- Indexé : l'opérande est à une adresse de base à laquelle est ajouté le contenu d'un registre comme déplacement

Modes d'adressage MIPS

- Immédiat : l'opérande est une constante contenue dans l'instruction
- Registre : l'opérande est un registre
- Indexé : l'opérande est à une adresse de base à laquelle est ajouté le contenu d'un registre comme déplacement
- Indexé sur le PC : l'opérande est à une adresse à laquelle est ajouté le contenu du compteur de programme comme déplacement

Modes d'adressage MIPS

- Immédiat : l'opérande est une constante contenue dans l'instruction
- Registre : l'opérande est un registre
- Indexé : l'opérande est à une adresse de base à laquelle est ajouté le contenu d'un registre comme déplacement
- Indexé sur le PC : l'opérande est à une adresse à laquelle est ajouté le contenu du compteur de programme comme déplacement
- Pseudo-direct : saut obtenu par concaténation des 26 bits du champs adresse d'une instruction `j` et des quatre bits de poids fort du PC

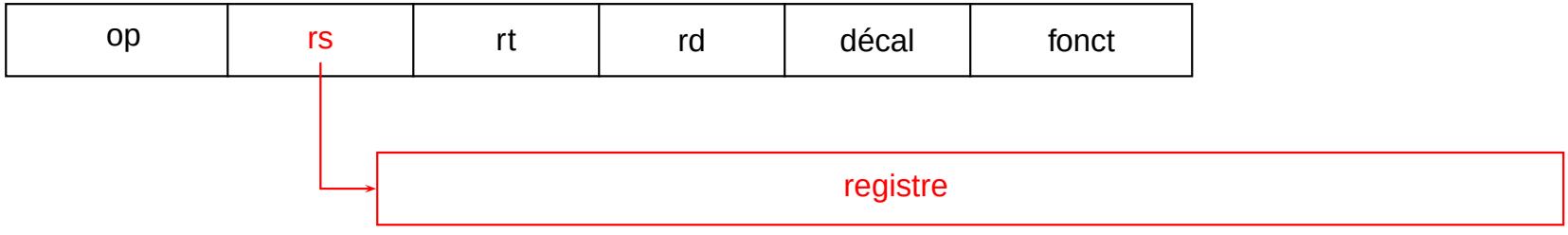
Adressage immédiat

L’opérande est une constante contenue dans l’instruction

op	rs	rt	immédiat

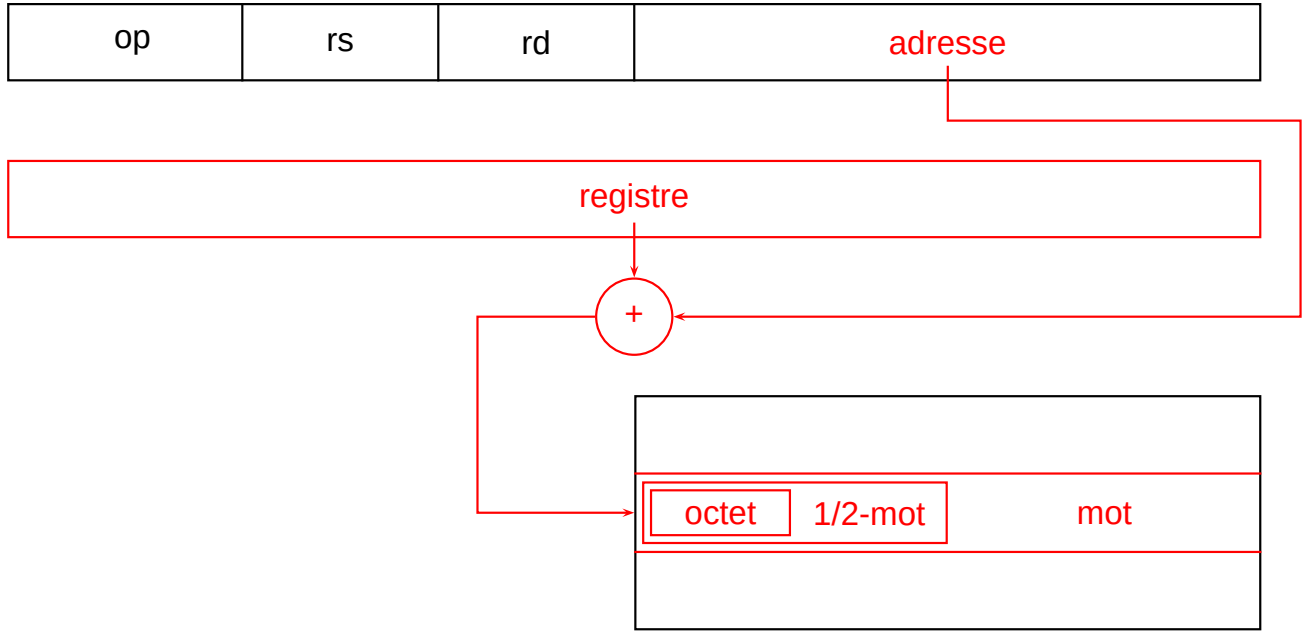
Adressage registre

L’opérande est un registre



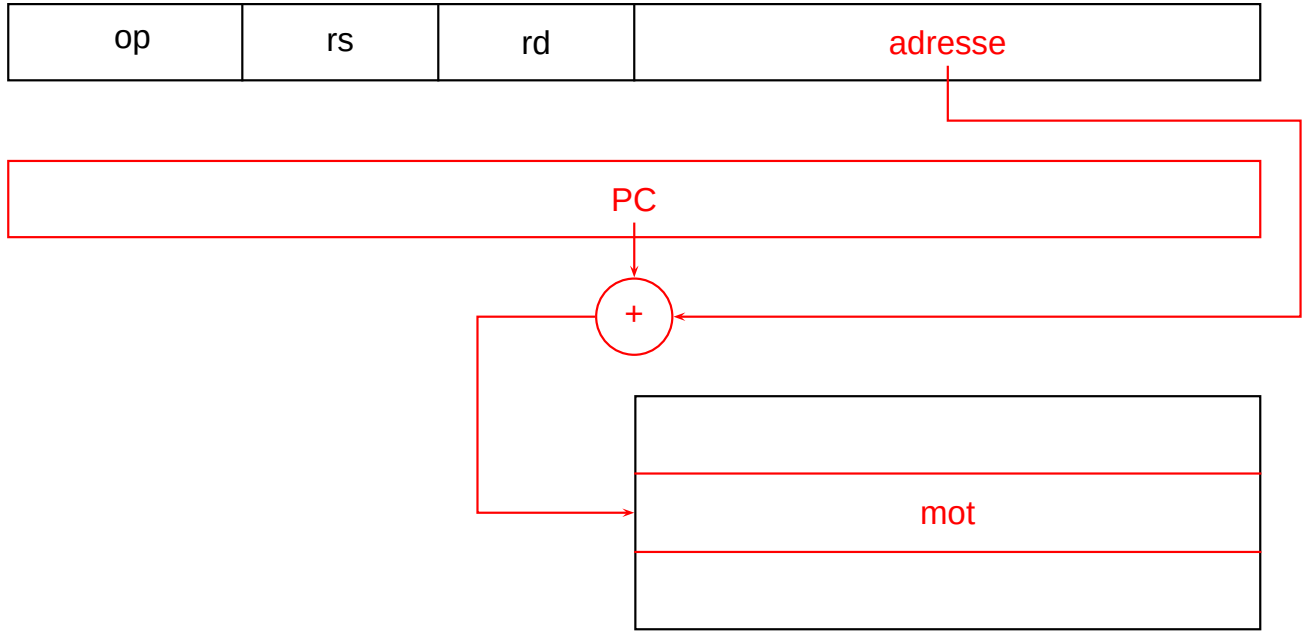
Adressage indexé

L'opérande est à une adresse de base à laquelle est ajouté le contenu d'un registre comme déplacement



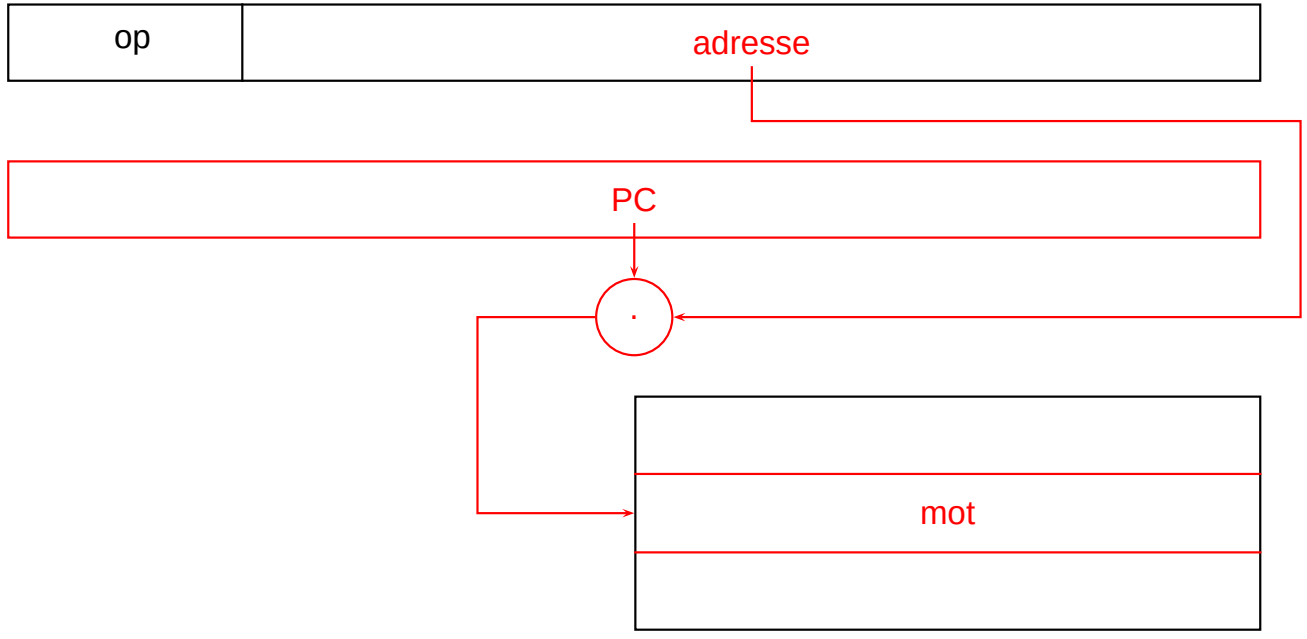
Adressage indexé sur le PC

L'opérande est à une adresse à laquelle est ajouté le contenu du compteur de programme comme déplacement



Adressage pseudo-direct

Saut obtenu par concaténation des 26 bits du champs adresse d'une instruction `j` et des quatre bits de poids fort du PC



Appels de fonction

Six étapes :

- la fonction appelante place les paramètres–données dans une zone accessible par la fonction appelée

Appels de fonction

Six étapes :

- la fonction appelante place les paramètres–données dans une zone accessible par la fonction appelée
- elle transfère le contrôle à la fonction appelée

Appels de fonction

Six étapes :

- la fonction appelante place les paramètres–données dans une zone accessible par la fonction appelée
- elle transfère le contrôle à la fonction appelée
- la fonction appelée acquiert les ressources mémoire nécessaires

Appels de fonction

Six étapes :

- la fonction appelante place les paramètres–données dans une zone accessible par la fonction appelée
- elle transfère le contrôle à la fonction appelée
- la fonction appelée acquiert les ressources mémoire nécessaires
- le corps de la fonction appelée est exécuté

Appels de fonction

Six étapes :

- la fonction appelante place les paramètres–données dans une zone accessible par la fonction appelée
- elle transfère le contrôle à la fonction appelée
- la fonction appelée acquiert les ressources mémoire nécessaires
- le corps de la fonction appelée est exécuté
- la fonction appelée place les paramètres–résultats dans une zone accessible par la fonction appelante

Appels de fonction

Six étapes :

- la fonction appelante place les paramètres–données dans une zone accessible par la fonction appelée
- elle transfère le contrôle à la fonction appelée
- la fonction appelée acquiert les ressources mémoire nécessaires
- le corps de la fonction appelée est exécuté
- la fonction appelée place les paramètres–résultats dans une zone accessible par la fonction appelante
- elle rend le contrôle au point d'appel de la fonction appelante

Registres dédiés aux appels de fonction

1. `$a0–$a3` : quatre registres dédiés au passage de paramètres
2. `$v0–$v1` : deux registres dédiés au retour de résultats
3. `$ra` : registre-adresse de retour au point d'appel, utilisé par l'intruction `jr`
4. une instruction dédiée à l'appel de fonction : `jal`
5. le registre de gestion de pile `$sp` pour le sauvegarde et la restauration de variables du programme appelant

Appel de fonction

1. mémonique : `jal` → *Jump And Link*
2. exemple : `jal Etiquette`
3. signification : `$ra = PC + 4; goto Etiquette;`

Retour de fonction

1. mémonique : `jr` → *Jump Register*
2. exemple : `jr $ra`
3. signification : `goto $ra;`

Modèle général appelant-appelé

```
appelant:  ...          # ...
           jal appelé   # $ra=PC+4; goto appelé;
           ...          # adresse retour :  PC+4

appelé:    ...          ...
           jr $ra       retour à PC+4
```

Modèle général appelant-appelé

```
appelant:  ...          # ...
           jal appelé   # $ra=PC+4; goto appelé;
           ...          # adresse retour :  PC+4

appelé:    ...          ...
           jr $ra       retour à PC+4
```

Pile et registres supplémentaires

1. Tout registre de l'appelant utilisé par la fonction appelée doit être sauvegardé à l'entrée, et restauré au sortir par celle-ci.
2. La structure de donnée idéale est la pile : les valeurs des registres sont empilées à l'entrée de la fonction, et dépilées à la sortie.
3. MIPS utilise le registre dédié `$sp` (*Stack Pointer*)
4. Pour des raisons "historiques", la pile croît des adresses hautes vers les adresses basses.

fonction_exemple/C

```
int fonction_exemple (int g, int h,
                      int i, int j)
{
  int f;
  f = (g+h)-(i+j);
  return f;
}
```

avec `g`, `h`, `i`, `j` associées aux registres `$a0`, `$a1`, `$a2`, `$a3`, `f` associée au registre `$s0`, la valeur de retour associée au registre `$v0`, et l'adresse de retour au registre `$ra`

Corps de la fonction_exemple/MIPS

`f = (g+h)-(i+j);`

va être compilé en :

```
add $t0, $a0, $a1  # t0 <- g+h
add $t1, $a2, $a3  # t1 <- i+j
sub $s0, $t0, $t1  # f = $t0 - $t1
```

→ il faut préalablement sauvegarder les contenus des registres `$s0`, `$t0`, `$t1`

Sauvegarde des registres (“PUSH”)

```
addi $sp, $sp, -12  # alloue l’espace dans la pile
sw $t1, 8($sp)      # sauve $t1 dans la pile
sw $t0, 4($sp)      # sauve $t0 dans la pile
sw $s0, 0($sp)      # sauve $s0 dans la pile
```

Passage des paramètres retours

```
add $v0, $s0, $zero  # renvoie f
```

Transfert du registre `$v0` vers `$s0`

Restauration des registres(“POP”)

```
lw $s0, 0($sp)     # restaure $s0 pour l’appelant
lw $t0, 4($sp)     # restaure $t0 pour l’appelant
lw $t1, 8($sp)     # restaure $t1 pour l’appelant
addi $sp, $sp, 12  # rend l’espace alloué dans la pile
```

f_exemple

```
f_exemple:  addi $sp, $sp, -12   # alloue l'espace dans la pile
            sw $t1, 8($sp)       # sauve $t1 dans la pile
            sw $t0, 4($sp)       # sauve $t0 dans la pile
            sw $s0, 0($sp)       # sauve $s0 dans la pile
            add $t0, $a0, $a1    # t0 <- g+h
            add $t1, $a2, $a3    # t1 <- i+j
            sub $s0, $t0, $t1    # f = $t0 - $t1
            add $v0, $s0, $zero  # renvoie f
            lw $s0, 0($sp)       # restaure $s0 pour l'appelant
            lw $t0, 4($sp)       # restaure $t0 pour l'appelant
            lw $t1, 8($sp)       # restaure $t1 pour l'appelant
            addi $sp, $sp, 12    # rend l'espace dans la pile
            jr $ra               # retour à l'appelant
```

Conventions de programmation

Registres :

non sauvegardés	à sauvegarder

Conventions de programmation

Registres :

non sauvegardés	à sauvegarder
$v0 – $v1 $a0 – $a3 $t0 – $t9	

Conventions de programmation

Registres :

non sauvegardés	à sauvegarder
$v0 – $v1	$s0 – $s7
$a0 – $a3	$gp
$t0 – $t9	$sp
	$fp
	$ra

f_exemple (suite)

```
f_exemple:  addi $sp, $sp, -12   # alloue l'espace dans la pile
            sw $t1, 8($sp)       # sauve $t1 dans la pile
            sw $t0, 4($sp)       # sauve $t0 dans la pile
            sw $s0, 0($sp)       # sauve $s0 dans la pile
            add $t0, $a0, $a1    # t0 <- g+h
            add $t1, $a2, $a3    # t1 <- i+j
            sub $s0, $t0, $t1    # f = $t0 - $t1
            add $v0, $s0, $zero  # renvoie f
            lw $s0, 0($sp)       # restaure $s0 pour l'appelant
            lw $t0, 4($sp)       # restaure $t0 pour l'appelant
            lw $t1, 8($sp)       # restaure $t1 pour l'appelant
            addi $sp, $sp, 12    # rend l'espace dans la pile
            jr $ra               # retour à l'appelant
```

f_exemple (suite)

```
f_exemple:  addi $sp, $sp, -12   # alloue l'espace dans la pile
            sw $t1, 8($sp)       # sauve $t1 dans la pile
            sw $t0, 4($sp)       # sauve $t0 dans la pile
            sw $s0, 0($sp)       # sauve $s0 dans la pile
            add $t0, $a0, $a1    # t0 <- g+h
            add $t1, $a2, $a3    # t1 <- i+j
            sub $s0, $t0, $t1    # f = $t0 - $t1
            add $v0, $s0, $zero  # renvoie f
            lw $s0, 0($sp)       # restaure $s0 pour l'appelant
            lw $t0, 4($sp)       # restaure $t0 pour l'appelant
            lw $t1, 8($sp)       # restaure $t1 pour l'appelant
            addi $sp, $sp, 12    # rend l'espace dans la pile
            jr $ra               # retour à l'appelant
```

f_exemple (suite)


```
f_exemple:  addi $sp, $sp, -4     # alloue l'espace dans la pile


            sw $s0, 0($sp)        # sauve $s0 dans la pile
            add $t0, $a0, $a1     # t0 <- g+h
            add $t1, $a2, $a3     # t1 <- i+j
            sub $s0, $t0, $t1     # f = $t0 - $t1
            add $v0, $s0, $zero   # renvoie f
            lw $s0, 0($sp)        # restaure $s0 pour l'appelant


            addi $sp, $sp, 4      # rend l'espace dans la pile
            jr $ra                # retour à l'appelant
```

Deux cas à considérer

Si la fonction appelée est

- terminale :

Deux cas à considérer

Si la fonction appelée est

- terminale :
  - empiler `$s0`, `$s1` . . . utilisés

Deux cas à considérer

Si la fonction appelée est

- terminale :
  - empiler `$s0`, `$s1` . . . utilisés
- non-terminale :

Deux cas à considérer

Si la fonction appelée est

- terminale :
  - empiler `$s0`, `$s1` . . . utilisés
- non-terminale :
  - empiler `$ra`

Deux cas à considérer

Si la fonction appelée est

- terminale :
  - empiler `$s0`, `$s1` . . . utilisés
- non-terminale :
  - empiler `$ra`
  - empiler `$a0`, `$a1`, . . . utilisés

Deux cas à considérer

Si la fonction appelée est

- terminale :
  - empiler `$s0`, `$s1` . . . utilisés
- non-terminale :
  - empiler `$ra`
  - empiler `$a0`, `$a1`, . . . utilisés
  - empiler `$s0`, `$s1` . . . utilisés

Deux cas à considérer

Si la fonction appelée est

- terminale :
  - empiler `$s0`, `$s1` . . . utilisés
- non-terminale :
  - empiler `$ra`
  - empiler `$a0`, `$a1`, . . . utilisés
  - empiler `$s0`, `$s1` . . . utilisés

Exemple important de fonction non-terminale : les fonctions récursives. . .

fonction fact/C

```
int fact (int n)
{
  if (n<1) return 1;
     else return (n * fact(n-1));
}
```

Le paramètre n est placé dans le registre $a0, la valeur de retour de la fonction dans le registre $v0.

fact

```
fact:   addi $sp, $sp, -8       # alloue l'espace dans la pile
        sw $ra, 4($sp)          # empile l'adresse de retour
        sw $a0, 0($sp)          # empile l'argument n
        slti $t0, $a0, 1        # test pour n < 1
        beq $t0, $zero, recurs  # if (n>=1) goto recurs;
        addi $v0, $zero, 1      # return 1;
        lw $a0, 0($sp)          # dépile l'argument n
        lw $ra, 4($sp)          # dépile l'adresse de retour
        addi $sp, $sp, 8        # pop des deux valeurs sauvées
        jr $ra                  # retour à l'appelant
recurs: addi $a0, $a0, -1       # n>=1:  l'argument reçoit n-1
        jal fact                # appel récursif
        lw $a0, 0($sp)          # dépile l'argument n
        lw $ra, 4($sp)          # dépile l'adresse de retour
        addi $sp, $sp, 8        # rend l'espace dans la pile
        mul $v0, $a0, $v0       # return n*fact(n-1)
        jr $ra                  # retour à la fonction appelante
```

fact

```
fact:   addi $sp, $sp, -8        # alloue l'espace dans la pile
        sw $ra, 4($sp)           # empile l'adresse de retour
        sw $a0, 0($sp)           # empile l'argument n
        slti $t0, $a0, 1         # test pour n < 1
        beq $t0, $zero, recurs   # if (n>=1) goto recurs;
        addi $v0, $zero, 1       # return 1;
        lw $a0, 0($sp)           # dépile l'argument n
        lw $ra, 4($sp)           # dépile l'adresse de retour
        addi $sp, $sp, 8         # pop des deux valeurs sauvées
        jr $ra                   # retour à l'appelant
recurs: addi $a0, $a0, -1        # n>=1:  l'argument reçoit n-1
        jal fact                 # appel récursif
        lw $a0, 0($sp)           # dépile l'argument n
        lw $ra, 4($sp)           # dépile l'adresse de retour
        addi $sp, $sp, 8         # rend l'espace dans la pile
        mul $v0, $a0, $v0        # return n*fact(n-1)
        jr $ra                   # retour à la fonction appelante
```

fact

```
fact:   addi $sp, $sp, -8       # alloue l'espace dans la pile
        sw $ra, 4($sp)          # empile l'adresse de retour
        sw $a0, 0($sp)          # empile l'argument n
        slti $t0, $a0, 1        # test pour n < 1
        beq $t0, $zero, recurs  # if (n>=1) goto recurs;
        addi $v0, $zero, 1      # return 1;


        addi $sp, $sp, 8        # pop des deux valeurs sauvées
        jr $ra                  # retour à l'appelant
recurs: addi $a0, $a0, -1       # n>=1:  l'argument reçoit n-1
        jal fact                # appel récursif
        lw $a0, 0($sp)          # dépile l'argument n
        lw $ra, 4($sp)          # dépile l'adresse de retour
        addi $sp, $sp, 8        # rend l'espace dans la pile
        mul $v0, $a0, $v0       # return n*fact(n-1)
        jr $ra                  # retour à la fonction appelante
```

Compilateur et éditeur de liens

- Compilateur : transforme le programme source en programme en langage d'assemblage utilisant des emplacements mémoire symboliques.

Compilateur et éditeur de liens

- Compilateur : transforme le programme source en programme en langage d'assemblage utilisant des emplacements mémoire symboliques.
- Editeur de liens : résoud les références symboliques sur des programmes compilés séparément.

Compilateurs optimisants

Un compilateur peut réaliser trois types d'optimisation :

- *Optimisations locales*. Réalisées à l'intérieur d'un bloc.

Compilateurs optimisants

Un compilateur peut réaliser trois types d'optimisation :

- *Optimisations locales*. Réalisées à l'intérieur d'un bloc.
- *Optimisations globales*. Réalisées sur plusieurs blocs.

Compilateurs optimisants

Un compilateur peut réaliser trois types d'optimisation :

- *Optimisations locales*. Réalisées à l'intérieur d'un bloc.
- *Optimisations globales*. Réalisées sur plusieurs blocs.
- *Allocation des registres*. Association des variables aux registres en fonction des différentes portions de code.

Compilateurs optimisants

Un compilateur peut réaliser trois types d'optimisation :

- *Optimisations locales*. Réalisées à l'intérieur d'un bloc.
- *Optimisations globales*. Réalisées sur plusieurs blocs.
- *Allocation des registres*. Association des variables aux registres en fonction des différentes portions de code.

Beaucoup d'optimisations sont réalisées à la fois localement et globalement, par exemple l'élimination de sous-expressions communes, la propagation des constantes, la propagation par copie. . .

Elimination de sous-expressions communes

Le compilateur détecte plusieurs occurences d'une même expression,
et utilise la première pour éliminer les suivantes.

Exemple : `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T
lw R101, i
sll R102, R101, 2
add R103, R100, R102
lw R104, 0(R103)
add R105, R104, 3
# T[i]=
li R106, T
lw R107, i
sll R108, R107, 2
add R109, R106, R108
sw R105, 0(R109)
```

Elimination de sous-expressions communes

Le compilateur détecte plusieurs occurences d'une même expression,
et utilise la première pour éliminer les suivantes.

Exemple : `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T
lw R101, i
sll R102, R101, 2
add R103, R100, R102
lw R104, 0(R103)
add R105, R104, 3
# T[i]=
li R106, T
lw R107, i
sll R108, R107, 2
add R109, R106, R108
sw R105, 0(R109)
```

Elimination de sous-expressions communes

Le compilateur détecte plusieurs occurences d'une même expression,
et utilise la première pour éliminer les suivantes.

Exemple : `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T
lw R101, i
sll R102, R101, 2
add R103, R100, R102
lw R104, 0(R103)
add R105, R104, 3
# T[i]=
li R106, T
lw R107, i
sll R108, R107, 2
add R109, R106, R108
sw R105, 0(R109)
```

```
# T[i]+3;
li R100, T
lw R101, i
sll R102, R101, 2
add R103, R100, R102
lw R104, 0(R103)
add R105, R104, 3
sw R105, 0(R103)
```

Compilation optimisée de `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T            # adresse de base du tableau T
lw R101, i            # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2     # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102  # valeur du déplacement
lw R104, 0(R103)      # R104 <- adresse de T[i]
add R105, R104, 3     # R105 <- T[i]+3
# T[i]=
li R106, T            # adresse de base du tableau T
lw R107, i            # valeur de l'incrément i
sll R108, R107, 2     # alignement sur 4 octets
add R109, R106, R108  # valeur du déplacement
sw R105, 0(R109)      # T[i]=T[i]+3;
```

Compilation optimisée de `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T              # adresse de base du tableau T
lw R101, i              # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2       # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102    # valeur du déplacement
lw R104, 0(R103)        # R104 <- adresse de T[i]
add R105, R104, 3       # R105 <- T[i]+3
# T[i]=
li R106, T              # adresse de base du tableau T
lw R107, i              # valeur de l'incrément i
sll R108, R107, 2       # alignement sur 4 octets
add R109, R106, R108    # valeur du déplacement
sw R105, 0(R109)        # T[i]=T[i]+3;
```

Compilation optimisée de `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T              # adresse de base du tableau T
lw R101, i              # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2       # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102    # valeur du déplacement
lw R104, 0(R103)        # R104 <- adresse de T[i]
add R105, R104, 3       # R105 <- T[i]+3
# T[i]=
li R100, T              # adresse de base du tableau T
lw R107, i              # valeur de l'incrément i
sll R108, R107, 2       # alignement sur 4 octets
add R109, R100, R108    # valeur du déplacement
sw R105, 0(R109)        # T[i]=T[i]+3;
```

Compilation optimisée de `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T              # adresse de base du tableau T
lw R101, i              # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2       # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102    # valeur du déplacement
lw R104, 0(R103)        # R104 <- adresse de T[i]
add R105, R104, 3       # R105 <- T[i]+3
# T[i]=
li R100, T              # adresse de base du tableau T
lw R107, i              # valeur de l'incrément i
sll R108, R107, 2       # alignement sur 4 octets
add R109, R100, R108    # valeur du déplacement
sw R105, 0(R109)        # T[i]=T[i]+3;
```

Compilation optimisée de `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T            # adresse de base du tableau T
lw R101, i            # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2     # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102  # valeur du déplacement
lw R104, 0(R103)      # R104 <- adresse de T[i]
add R105, R104, 3     # R105 <- T[i]+3
# T[i]=
li R100, T            # adresse de base du tableau T
lw R101, i            # valeur de l'incrément i
sll R108, R101, 2     # alignement sur 4 octets
add R109, R100, R108  # valeur du déplacement
sw R105, 0(R109)      # T[i]=T[i]+3;
```

Compilation optimisée de `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T              # adresse de base du tableau T
lw R101, i              # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2       # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102    # valeur du déplacement
lw R104, 0(R103)        # R104 <- adresse de T[i]
add R105, R104, 3       # R105 <- T[i]+3
# T[i]=
li R100, T              # adresse de base du tableau T
lw R101, i              # valeur de l'incrément i
sll R108, R101, 2       # alignement sur 4 octets
add R109, R100, R108    # valeur du déplacement
sw R105, 0(R109)        # T[i]=T[i]+3;
```

Compilation optimisée de `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T            # adresse de base du tableau T
lw R101, i            # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2     # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102  # valeur du déplacement
lw R104, 0(R103)      # R104 <- adresse de T[i]
add R105, R104, 3     # R105 <- T[i]+3
# T[i]=
li R100, T            # adresse de base du tableau T
lw R101, i            # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2     # alignement sur 4 octets
add R109, R100, R102  # valeur du déplacement
sw R105, 0(R109)      # T[i]=T[i]+3;
```

Compilation optimisée de `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T              # adresse de base du tableau T
lw R101, i              # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2       # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102    # valeur du déplacement
lw R104, 0(R103)        # R104 <- adresse de T[i]
add R105, R104, 3       # R105 <- T[i]+3
# T[i]=
li R100, T              # adresse de base du tableau T
lw R101, i              # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2       # alignement sur 4 octets
add R109, R100, R102    # valeur du déplacement
sw R105, 0(R109)        # T[i]=T[i]+3;
```

Compilation optimisée de `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T            # adresse de base du tableau T
lw R101, i            # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2     # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102  # valeur du déplacement
lw R104, 0(R103)      # R104 <- adresse de T[i]
add R105, R104, 3     # R105 <- T[i]+3
# T[i]=
li R100, T            # adresse de base du tableau T
lw R101, i            # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2     # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102  # valeur du déplacement
sw R105, 0(R103)      # T[i]=T[i]+3;
```

Compilation optimisée de `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T              # adresse de base du tableau T
lw R101, i              # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2       # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102    # valeur du déplacement
lw R104, 0(R103)        # R104 <- adresse de T[i]
add R105, R104, 3       # R105 <- T[i]+3
# T[i]=
li R100, T              # adresse de base du tableau T
lw R101, i              # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2       # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102    # valeur du déplacement
sw R105, 0(R103)        # T[i]=T[i]+3;
```

Compilation optimisée de `T[i]+=3;`

```
# T[i]+3;
li R100, T              # adresse de base du tableau T
lw R101, i              # valeur de l'incrément i
sll R102, R101, 2       # alignement sur 4 octets
add R103, R100, R102    # valeur du déplacement
lw R104, 0(R103)        # R104 <- adresse de T[i]
add R105, R104, 3       # R105 <- T[i]+3




sw R105, 0(R103)        # T[i]=T[i]+3;
```

Directives d'assemblage

Dit à l'assembleur comment interpéter ce qui suit en mémoire. Par exemple :

`.ascii <chaîne>` : ce qui suit la directive est une chaîne de caractères

`.asciiz <chaîne>` : ce qui suit la directive est une chaîne terminée par le caractère `\0`

`.byte <b1, ..., bn>` : range b1, ..., bn dans n octets successifs

`.data` : ce qui suit la directive est placé dans le segment de données

Directives d'assemblage

`.globl <étiquette>` : ce qui suit la directive est une `étiquette` globale et peut être référencée à partir d'autres fichiers

`.text` : ce qui suit la directive est placé dans le segment Texte

`.word <w1, ..., wn>` : range `w1`, ..., `wn` dans n mots successifs

Exemple de directive

```
            .data
tableau:    .word           0x00000001,
                            0x00000002,
                            0x00000003,
                            0x00000004,
                            0x00000005
            .text
main:       la $t0, tableau
            ...
```

Exemple de directive

```
            .data
tableau:    .word           0x00000001,
                            0x00000002,
                            0x00000003,
                            0x00000004,
                            0x00000005
            .text
main:       la $t0, tableau
            ...
```

- portion de programme référençant un tableau d'entiers dans le segment de données
- `la` est une pseudo–instruction permettant le chargement d'une adresse

Entrées-sorties : `syscall`

Toutes les entrées–sorties sont prises en charge par la routine système `syscall`

Opération	`$v0` =	Arguments	Valeur retour
`print_int`	1	`$a0` = entier à afficher	
`print_string`	4	`$a0` = chaîne à afficher	
`read_int`	5		`$v0` = entier lu
`read_string`	8	`$a0` = buffer, `$a0` = longueur	
`exit`	10		
`print_char`	11	`$a0` = car. à afficher	`$a0` = car. lu
`read_char`	12		`$a0` = car. lu
`exit2`	17	`$a0` = résultat	

Exemple : `syscall`

```
        .data
str:    .asciiz             “Bonjour”
        .text
main:   ori $v0, $zero, 4   # $v0 <- 4
        la $a0, str         # $a0 <- str
        syscall             # affiche “Bonjour”
        ...
        ori $v0, $zero, 10  # $v0 <- 10
        syscall             # appel système de
                            # terminaison de programme
```

Exemple : `syscall`

```
        .data
str:    .asciiz             “Bonjour”
        .text
main:   ori $v0, $zero, 4   # $v0 <- 4
        la $a0, str         # $a0 <- str
        syscall             # affiche “Bonjour”
        ...
        ori $v0, $zero, 10  # $v0 <- 10
        syscall             # appel système de
                            # terminaison de programme
```

- l’étiquette `str:` référence l’adresse de la chaîne de caractères en mémoire
- `$a0` est l’adresse de la chaîne, passée comme argument à `syscall`