Architecture des ordinateurs
Cours 5

Responsable de l'UE : Emmanuelle Encrenaz
Supports de cours : Karine Heydemann

Contact : emmanuelle.encrenaz@lip6.fr

Informations

6 novembre

- Le partiel aura lieu le lundi ~~8~~ novembre de 8h30 à 10h (dans 3 amphis, répartition donnée sur le site de la Licence)

13 novembre

- Le TME solo aura lieu le lundi 13 ~~décembre~~ de 8h30 à 10h30

  Convocation de 50% des étudiants à 8h30, 50% à 9h30.

Plan du cours 5

Programme avec flot d'exécution variable

On sait désormais écrire des programmes avec des instructions utilisant l'ALU et avec des variables globales. Mais...

- Comment exprimer des calculs différents en fonction d'une condition ?

  Par exemple, comment coder le calcul de la valeur absolue d'une variable stockée en mémoire ?

- Comment itérer `n` fois un même calcul ?

  Par exemple, comment parcourir `n` éléments implantés consécutivement en mémoire (tableau) pour leur ajouter 1 ?

$\Rightarrow$ Utilisation d'instructions de saut qui permettent de casser l'exécution séquentielle par défaut du code.

Deux type d'instructions de sauts

Sauts inconditionnels ou "jump"

- Ils ont toujours lieu : le PC est modifié avec une valeur donnée par un opérande de l'instruction
  - `j etiquette_inst`, `jr $31`
- L'exécution continue (affectation de PC) à l'adresse spécifiée par l'étiquette ou contenue dans un registre.

Sauts conditionnels ou branchements

- Ils sont réalisés ou pris, si et seulement si, une condition spécifiée dans le codop de l'instruction est vérifiée. Cette condition peut être :
  - égalité ou différence de deux registres :
    `beq $0, $4, etiquette_inst`, `bne $0, $4, etiquette_inst`,
  - comparaison d'un registre à 0 ($< 0, \leq 0, > 0, \geq 0$) :
    `bgez $4, etiquette_inst`
- L'exécution continue (affectation de PC) à l'adresse spécifiée par l'étiquette si la condition est vérifiée et en séquence sinon (incrémentation normale de PC).

Deux type d'instructions de sauts

Sauts inconditionnels ou "jump"

- Ils ont toujours lieu : le PC est modifié avec une valeur donnée par un opérande de l'instruction
  - `j etiquette_inst`, `jr $31`
- L'exécution continue (affectation de PC) à l'adresse spécifiée par l'étiquette ou contenue dans un registre.

Sauts conditionnels ou branchements

- Ils sont réalisés ou pris, si et seulement si, une condition spécifiée dans le codop de l'instruction est vérifiée. Cette condition peut être :
  - égalité ou différence de deux registres :
    `beq $0, $4, etiquette_inst`, `bne $0, $4, etiquette_inst`,
  - comparaison d'un registre à 0 ($< 0, \leq 0, > 0, \geq 0$) :
    `bgez $4, etiquette_inst`
- L'exécution continue (affectation de PC) à l'adresse spécifiée par l'étiquette si la condition est vérifiée et en séquence sinon (incrémentation normale de PC).

Les instructions de sauts inconditionnnels

Syntaxe des sauts inconditionnels directs

Saut inconditionnel de la forme `j etiq` avec `etiq` une étiquette positionnée dans le code avant ou après le saut

```
.data
.text
  ori $4, $0, 10
  ori $3, $0, 8
  j suite
  add $4, $4, $3
suite:

  # instructions quelconques ici

  ori $2, $0,10
  syscall
```

```
.data
.text
  ori $4, $0, 10
  ori $3, $0, 8
suite:
  add $4, $4, $1
  j suite

  # instructions quelconques ici

  ori $2, $0,10
  syscall
```

Les instructions de sauts inconditionnnels : exemple

```
.data
.text
  ori $4, $0, 10
  ori $3, $0, 8
  j suite
  add $4, $4, $3
suite:

  # instructions quelconques ici

  ori $2, $0,10
  syscall
```

```
.data
.text
  ori $4, $0, 10
  ori $3, $0, 8
suite:
  add $4, $4, $1
  j suite

  # instructions quelconques ici

  ori $2, $0,10
  syscall
```

Quel est l'effet de ces instructions sur ces 2 codes ?

Les instructions de sauts inconditionnnels : exemple

```
.data
.text
  ori $4, $0, 10
  ori $3, $0, 8
  j suite
  add $4, $4, $3
suite:

  # instructions quelconques ici

  ori $2, $0,10
  syscall
```

```
.data
.text
  ori $4, $0, 10
  ori $3, $0, 8
suite:
  add $4, $4, $1
  j suite

  # instructions quelconques ici

  ori $2, $0,10
  syscall
```

Quel est l'effet de ces instructions sur ces 2 codes ?

- À gauche : c'est un saut en avant, l'instruction `add $4,$4,$3` qui suit le saut n'est pas exécutée
- À droite : c'est un saut en arrière, permet de répéter l'exécution de l'instruction entre l'étiquette cible du saut et le saut... mais engendre une exécution sans fin

$\Rightarrow$ Solution : utilisation d'un saut conditionnel (à la place du saut / entre l'étiquette et le saut conditionnel)

Saut conditionnels (1)

Condition d'égalité du contenu de deux registres

```
beq $10, $8, label # beq = branch if equal
```

- Si `$10 = $8` alors branchement à l'étiquette label, sinon exécution séquentielle

Condition d'inégalité du contenu de deux registres

```
bne $10, $8, label # bne = branch if not equal
```

- Si `$10` $\neq$ `$8` alors branchement à l'étiquette label, sinon exécution séquentielle

Sauts conditionnels (2)

4 instructions de saut conditionnel avec une comparaison à 0 du contenu d'un registre

```
bgez $8, label # branch if greater or equal than zero
```

- Si `$8` $\geq$ `0` alors branchement à l'étiquette label, sinon exécution séquentielle

```
bgtz $8, label # branch if greater than zero
```

- Si `$8` $>$ `0` alors branchement à l'étiquette label, sinon exécution séquentielle

```
blez $8, label # branch if less or equal than zero
```

- Si `$8` $\leq$ `0` alors branchement à l'étiquette label, sinon exécution séquentielle

```
bltz $8, label # branch if less than zero
```

- Si `$8` $<$ `0` alors branchement à l'étiquette label, sinon exécution séquentielle

Calculer en fonction d'une condition

Calculer la valeur absolue d'un entier rangé en mémoire et l'afficher

- Lecture d'un entier en mémoire
- Calcul de valeur absolue
- Affichage du résultat (un entier)

Calculer en fonction d'une condition

Calculer la valeur absolue d'un entier rangé en mémoire et l'afficher

- Lecture d'un entier en mémoire : déjà vu
- Calcul de valeur absolue : ? ? ?
- Affichage du résultat (un entier) : déjà vu

Calculer en fonction d'une condition

Calculer la valeur absolue d'un entier rangé en mémoire et l'afficher

- Lecture d'un entier en mémoire : déjà vu
- Calcul de valeur absolue : ? ? ?
- Affichage du résultat (un entier) : déjà vu

```
.data
n:   .word -1        # allocation d'un entier initialisé à une valeur (-1)

.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse n dans $3
   lw $4, 0($3)    # lecture de la valeur (en mémoire) dans $4

# ici il faut calculer la valeur absolue

   ori $2, $0, 1   # affichage de l'entier contenu dans $4
   syscall

   ori $2, $0, 10  # fin de programme
   syscall
```

Calculer en fonction d'une condition

Calculer la valeur absolue d'un entier contenu dans un registre

- Si l'entier est positif : sa valeur absolue est lui-même, sinon il faut calculer l'opposé (0 - valeur)
- L'instruction `bgez OpReg, etiquette` spécifie que l'exécution continue à `etiquette` si `OpReg` positif ou nul ⇒ c'est le cas où il n'y a rien à faire, on saute à l'affichage

```
.data
n:   .word -1       # allocation d'un entier initialisé à une valeur (-1)

.text
   lui $3, 0x1001 # chargement de l'adresse n dans $3
   lw $4, 0($3)   # lecture de la valeur (en mémoire) dans $4

# test de positivité et saut si positif
   bgez $4, affiche
   sub $4, $0, $4 # calcul de l'opposé

affiche:
   ori $2, $0, 1  # affichage de l'entier contenu dans $4
   syscall

   ori $2, $0, 10 # fin de programme
   syscall
```

Calculer en fonction d'une condition

Calculer la valeur absolue d'un entier contenu dans un registre

- Si l'entier est positif : sa valeur absolue est lui-même, sinon il faut calculer l'opposé (0 - valeur)
- L'instruction `bgez OpReg, etiquette` spécifie que l'exécution continue à `etiquette` si `OpReg` positif ou nul ⇒ c'est le cas où il n'y a rien à faire, on saute à l'affichage

```
.data
n:   .word -1      # allocation d'un entier initialisé à une valeur (-1)

.text
   lui $3, 0x1001 # chargement de l'adresse n dans $3
   lw $4, 0($3)   # lecture de la valeur (en mémoire) dans $4

# test de positivité et saut si positif
   bgez $4, affiche
   sub $4, $0, $4 # calcul de l'opposé

affiche:
   ori $2, $0, 1  # affichage de l'entier contenu dans $4
   syscall

   ori $2, $0, 10 # fin de programme
   syscall
```

Calculer en fonction d'une condition

- Comment réaliser un calcul en fonction d'une condition qui compare deux valeurs ?

  Exemple : calculer l'opposé d'un entier `n` rangé en mémoire s'il est supérieur à un autre entier `p` rangé en mémoire ou à une constante ?

- Les instructions de branchement permettent uniquement de tester l'égalité ou la différence entre deux registres ou de comparer à 0...

Sauts conditionnels (3)

Comment réaliser un saut conditionnel avec comparaison de deux valeurs ?

- Comparaison des deux valeurs avec une instruction de comparaison
- Le résultat de la comparaison vaut 1 (vrai) ou 0 (faux)
- Branchement conditionnel avec le résultat

Comparaison registre-registre

- `slt $10, $8, $9 # set if less than`
- `$10 = 1` si `$8 < $9`, `$10 = 0` sinon

Saut conditionnels (4)

Comparaison registre-immédiat

- `slti $10, $8, 10 # set if less than immediate`
- `$10 = 1` si `$8 < 10`, `$10 = 0` sinon
- Immédiat étendu de manière signée
- `sltiu` : comparaison non signée, mais immédiat étendu de manière signée (ex : -1)

Branchement conditionnel avec le résultat d'une comparaison

- `beq $10, $0, label`
  - Saut à `label` si la comparaison est fausse
- `bne $10, $0, label`
  - Saut à `label` si la comparaison est vraie

Autre cas de comparaison de deux valeurs

Cas et suites d'instructions correspondantes

- Saut à l'adresse `label` si `$10 < $8`

```
slt $9, $10, $8 # $9 vaut 1 si $10 < $8
bne $9, $0, label
```

- Saut à l'adresse `label` si `$10 > $8`

```
slt $9, $8, $10 # $9 vaut 1 si $8 < $10
bne $9, $0, label
```

- Saut à l'adresse `label` si `$10` $\leq$ `$8`

```
slt $9, $8, $10 # $9 vaut 1 si $8 < $10
beq $9, $0, label
```

- Saut à l'adresse `label` si `$10` $\geq$ `$8`

```
slt $9, $10, $8 # $9 vaut 1 si $10 < $8
beq $9, $0, label
```

Calculer en fonction d'une condition

- Calculer l'opposé d'un entier `n` rangé en mémoire s'il est supérieur à une constante ⇒ tester si `n` est supérieur à la constante (`n` > constante ?)
  - Il faut utiliser une instruction `slt OpReg1,OpReg2,OpReg3` qui effectue la comparaison `OpReg2` < `OpReg3`

    ⇒ `OpReg2` doit contenir la constante et `OpReg3` la valeur de `n`.
  - Si `OpReg1` vaut 1, calcul de l'opposé ; s'il vaut 0, il faut aller à la suite : ⇒ utilisation d'un saut comparant à 0 : `beq OpReg1,$0,suite`

```
.data
n:   .word -1        # allocation d'un entier initialisé à une valeur (-1)
.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse n dans $3
   lw $4, 0($3)    # lecture de la valeur (en mémoire) dans $4

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA     # constante dans $5
   slt $6, $5, $4      # $6 vaut 1 si $5 < $4 (soit 0xA < n), 0 sinon
   beq $6, $0, suite   # saut à la suite si condition fausse

  # calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon

suite:
   ...
```

Calculer en fonction d'une condition

- Calculer l'opposé d'un entier `n` rangé en mémoire s'il est supérieur à une constante ⇒ tester si `n` est supérieur à la constante (`n` > constante ?)
  - Il faut utiliser une instruction `slt OpReg1,OpReg2,OpReg3` qui effectue la comparaison `OpReg2` < `OpReg3`

    ⇒ `OpReg2` doit contenir la constante et `OpReg3` la valeur de `n`.
  - Si `OpReg1` vaut 1, calcul de l'opposé ; s'il vaut 0, il faut aller à la suite : ⇒ utilisation d'un saut comparant à 0 : `beq OpReg1,$0,suite`

```
.data
n:   .word -1        # allocation d'un entier initialisé à une valeur (-1)
.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse n dans $3
   lw $4, 0($3)    # lecture de la valeur (en mémoire) dans $4

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA     # constante dans $5
   slt $6, $5, $4      # $6 vaut 1 si $5 < $4 (soit 0xA < n), 0 sinon
   beq $6, $0, suite   # saut à la suite si condition fausse

  # calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon

suite:
   ...
```

Calculer en fonction d'une condition

- Calculer l'opposé d'un entier `n` rangé en mémoire s'il est supérieur à une constante ⇒ tester si `n` est supérieur à la constante (`n` > constante ?)
  - Il faut utiliser une instruction `slt OpReg1,OpReg2,OpReg3` qui effectue la comparaison `OpReg2` < `OpReg3`

    ⇒ `OpReg2` doit contenir la constante et `OpReg3` la valeur de `n`.
  - Si `OpReg1` vaut 1, calcul de l'opposé ; s'il vaut 0, il faut aller à la suite : ⇒ utilisation d'un saut comparant à 0 : `beq OpReg1,$0,suite`

```
.data
n:   .word -1        # allocation d'un entier initialisé à une valeur (-1)
.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse n dans $3
   lw $4, 0($3)    # lecture de la valeur (en mémoire) dans $4

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA     # constante dans $5
   slt $6, $5, $4      # $6 vaut 1 si $5 < $4 (soit 0xA < n), 0 sinon
   beq $6, $0, suite   # saut à la suite si condition fausse

  # calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon

suite:
   ...
```

Calculer en fonction d'une condition

- Calculer l'opposé d'un entier `n` rangé en mémoire s'il est supérieur à une constante ⇒ tester si `n` est supérieur à la constante (`n` > constante ?)
  - Il faut utiliser une instruction `slt OpReg1,OpReg2,OpReg3` qui effectue la comparaison `OpReg2` < `OpReg3`

    ⇒ `OpReg2` doit contenir la constante et `OpReg3` la valeur de `n`.
  - Si `OpReg1` vaut 1, calcul de l'opposé ; s'il vaut 0, il faut aller à la suite : ⇒ utilisation d'un saut comparant à 0 : `beq OpReg1,$0,suite`

```
.data
n:   .word -1        # allocation d'un entier initialisé à une valeur (-1)
.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse n dans $3
   lw $4, 0($3)    # lecture de la valeur (en mémoire) dans $4

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA     # constante dans $5
   slt $6, $5, $4      # $6 vaut 1 si $5 < $4 (soit 0xA < n), 0 sinon
   beq $6, $0, suite   # saut à la suite si condition fausse

  # calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon

suite:
   ...
```

Calculer en fonction d'une condition

- Calculer l'opposé d'un entier `n` rangé en mémoire s'il est supérieur à une constante ⇒ tester si `n` est supérieur à la constante (`n` > constante ?)
  - Il faut utiliser une instruction `slt OpReg1,OpReg2,OpReg3` qui effectue la comparaison `OpReg2` < `OpReg3`

    ⇒ `OpReg2` doit contenir la constante et `OpReg3` la valeur de `n`.
  - Si `OpReg1` vaut 1, calcul de l'opposé ; s'il vaut 0, il faut aller à la suite : ⇒ utilisation d'un saut comparant à 0 : `beq OpReg1,$0,suite`

```
.data
n:   .word -1        # allocation d'un entier initialisé à une valeur (-1)
.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse n dans $3
   lw $4, 0($3)    # lecture de la valeur (en mémoire) dans $4

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA     # constante dans $5
   slt $6, $5, $4      # $6 vaut 1 si $5 < $4 (soit 0xA < n), 0 sinon
   beq $6, $0, suite   # saut à la suite si condition fausse

  # calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon

suite:
   ...
```

Calculer en fonction d'une condition

- Calculer l'opposé d'un entier `n` rangé en mémoire s'il est supérieur à une constante ⇒ tester si `n` est supérieur à la constante (`n` > constante ?)
  - Il faut utiliser une instruction `slt OpReg1,OpReg2,OpReg3` qui effectue la comparaison `OpReg2` < `OpReg3`

    ⇒ `OpReg2` doit contenir la constante et `OpReg3` la valeur de `n`.
  - Si `OpReg1` vaut 1, calcul de l'opposé ; s'il vaut 0, il faut aller à la suite : ⇒ utilisation d'un saut comparant à 0 : `beq OpReg1,$0,suite`

```
.data
n:   .word -1        # allocation d'un entier initialisé à une valeur (-1)
.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse n dans $3
   lw $4, 0($3)    # lecture de la valeur (en mémoire) dans $4

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA      # constante dans $5
   slt $6, $5, $4       # $6 vaut 1 si $5 < $4 (soit 0xA < n), 0 sinon
   beq $6, $0, suite    # saut à la suite si condition fausse

  # calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4       # calcul de l'opposé sinon

suite:
   ...
```

Calculer en fonction d'une condition

- Calculer l'opposé d'un entier `n` rangé en mémoire s'il est supérieur à une constante ⇒ tester si `n` est supérieur à la constante (`n` > constante ?)
  - Il faut utiliser une instruction `slt OpReg1,OpReg2,OpReg3` qui effectue la comparaison `OpReg2` < `OpReg3`

    ⇒ `OpReg2` doit contenir la constante et `OpReg3` la valeur de `n`.
  - Si `OpReg1` vaut 1, calcul de l'opposé ; s'il vaut 0, il faut aller à la suite : ⇒ utilisation d'un saut comparant à 0 : `beq OpReg1,$0,suite`

```
.data
n:   .word -1        # allocation d'un entier initialisé à une valeur (-1)
.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse n dans $3
   lw $4, 0($3)    # lecture de la valeur (en mémoire) dans $4

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA      # constante dans $5
   slt $6, $5, $4       # $6 vaut 1 si $5 < $4 (soit 0xA < n), 0 sinon
   beq $6, $0, suite    # saut à la suite si condition fausse

  # calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4       # calcul de l'opposé sinon

suite:
   ...
```

Calculer en fonction d'une condition

- Correspond à la structure de contrôle de haut niveau `if-then`

```
.text
   # code avant

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA
   slt $6, $5, $4      # $6 vaut 1 si 10 < n, 0 sinon
   beq $6, $0, suite # saut si condition fausse

  # calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon

suite:
   # code apres
```

- À quoi ressemblerait un code avec des calculs de type `if-then-else` ?
- Ajouter 10 à `$4` dans le cas où `n` est inférieur ou égal à 10 dans le code ci-dessus ?

Calculer en fonction d'une condition

- Correspond à la structure de contrôle de haut niveau `if-then`

```
.text
   # code avant

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA
   slt $6, $5, $4      # $6 vaut 1 si 10 < n, 0 sinon
   beq $6, $0, suite # saut si condition fausse

  # calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon

suite:
   # code apres
```

- À quoi ressemblerait un code avec des calculs de type `if-then-else` ?
- Ajouter 10 à `$4` dans le cas où `n` est inférieur ou égal à 10 dans le code ci-dessus ?

Calculer en fonction d'une condition

- Correspond à la structure de contrôle de haut niveau `if-then`

```
.text
   # code avant

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA
   slt $6, $5, $4      # $6 vaut 1 si 10 < n, 0 sinon
   beq $6, $0, suite # saut si condition fausse

  # calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon

suite:
   # code apres
```

- À quoi ressemblerait un code avec des calculs de type `if-then-else` ?
- Ajouter 10 à `$4` dans le cas où `n` est inférieur ou égal à 10 dans le code ci-dessus ?

Calculer en fonction d'une condition

- Ajouter 10 à `$4` dans le cas où `n` est inférieur ou égal à 10
- Ajouter une suite d'instructions correspondant au cas "`else`" + adapter le saut pour aller exécuter cette séquence d'instructions

```
.text
   # code avant

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA
   slt $6, $5, $4      # $6 vaut 1 si 10 < n
   bne $6, $0, else # saut si condition fausse

  # cas then : calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon

else: # cas else : ajouter 10
   add $4, $4, 10

suite:
   # code apres
```

- Est-ce correct ?

Calculer en fonction d'une condition

- Ajouter 10 à `$4` dans le cas où `n` est inférieur ou égal à 10
- Ajouter une suite d'instructions correspondant au cas "`else`" + adapter le saut pour aller exécuter cette séquence d'instructions

```
.text
   # code avant

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA
   slt $6, $5, $4      # $6 vaut 1 si 10 < n
   bne $6, $0, else # saut si condition fausse

  # cas then : calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon

else: # cas else : ajouter 10
   add $4, $4, 10

suite:
   # code apres
```

- Est-ce correct ?

Calculer en fonction d'une condition

- Ajouter 10 à `$4` dans le cas où `n` est inférieur ou égal à 10
- Ajouter une suite d'instructions correspondant au cas "`else`" + adapter le saut pour aller exécuter cette séquence d'instructions

```
.text
   # code avant

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA
   slt $6, $5, $4      # $6 vaut 1 si 10 < n
   bne $6, $0, else # saut si condition fausse

  # cas then : calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon

else: # cas else : ajouter 10
   add $4, $4, 10

suite:
   # code apres
```

- Est-ce correct ?

Calculer en fonction d'une condition

Erreur classique à éviter

- On ne doit pas exécuter les 2 cas ("`then`" puis "`else`") : il faut un saut inconditionnel à la fin du cas "`then`" !

```
.text
    # code avant

    # test de la condition
    ori $5, $0, 0xA
    slt $6, $5, $4      # $6 vaut 1 si 10 < n
    beq $6, $0, else # saut si condition fausse

   # cas then : calcul de l'opposé
    sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon
    j suite

else: # cas else : ajouter 10
    add $4, $4, 10

suite:
    # code apres
```

On peut inverser la position des séquences "`then`" et "`else`"en inversant la condition dans l'instruction de saut conditionnel

Calculer en fonction d'une condition

Inversion du placement des séquences `then` - `else`

On peut inverser la position des séquences en inversant la condition dans l'instruction de saut conditionnel

```
.text
   # code avant

   # test de la condition
   ori $5, $0, 0xA
   slt $6, $5, $4      # si 10 < n $6 vaut 1
   bne $6, $0, then # saut si condition vraie

   # cas else : ajouter 10
   add $4, $4, 10
   j suite

then: cas then : calcul de l'opposé
   sub $4, $0, $4      # calcul de l'opposé sinon

suite:
   # code apres
```

Itérer un calcul `n` fois

- Mettre `n` dans un registre
- Tester si `n` est supérieur à 0 : soit finir l'exécution, soit exécuter le calcul
  ⇒ L'instruction `beq OpReg, $0, etiquette` spécifie que l'exécution continue à `etiquette` si `OpReg` est égal à 0
- Il faut organiser le code et positionner des étiquettes pour réaliser ce calcul conditionnel (1 exécution)

```
.data
n:   .word 0xA   # allocation d'un entier initialisé à 10

.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse de n dans $3
   lw $4, 0($3)    # mettre n dans un registre
                   # ici n est dans $4

  # tester si n vaut 0, effectuer le calcul ou non
   beq $4, $0, non_calcul

  # instructions du calcul



non_calcul: # instructions après les itérations du calcul
   ori $2, $0, 10 # fin de programme
   syscall
```

Itérer un calcul `n` fois

- Mettre `n` dans un registre
- Tester si `n` est supérieur à 0 : soit finir l'exécution, soit exécuter le calcul
  ⇒ L'instruction `beq OpReg, $0, etiquette` spécifie que l'exécution continue à `etiquette` si `OpReg` est égal à 0
- Il faut organiser le code et positionner des étiquettes pour réaliser ce calcul conditionnel (1 exécution)

```
.data
n:   .word 0xA   # allocation d'un entier initialisé à 10

.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse de n dans $3
   lw $4, 0($3)    # mettre n dans un registre
                   # ici n est dans $4

  # tester si n vaut 0, effectuer le calcul ou non
   beq $4, $0, non_calcul

  # instructions du calcul



non_calcul: # instructions après les itérations du calcul
   ori $2, $0, 10 # fin de programme
   syscall
```

Itérer un calcul `n` fois

- Mettre `n` dans un registre
- Tester si `n` est supérieur à 0 : soit finir l'exécution, soit exécuter le calcul
  ⇒ L'instruction `beq OpReg, $0, etiquette` spécifie que l'exécution continue à `etiquette` si `OpReg` est égal à 0
- Il faut organiser le code et positionner des étiquettes pour réaliser ce calcul conditionnel (1 exécution)

```
.data
n:   .word 0xA   # allocation d'un entier initialisé à 10

.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse de n dans $3
   lw $4, 0($3)    # mettre n dans un registre
                   # ici n est dans $4

  # tester si n vaut 0, effectuer le calcul ou non
   beq $4, $0, non_calcul

  # instructions du calcul



non_calcul: # instructions après les itérations du calcul
   ori $2, $0, 10 # fin de programme
   syscall
```

Itérer un calcul `n` fois

- Mettre `n` dans un registre
- Tester si `n` est supérieur à 0 : soit finir l'exécution, soit exécuter le calcul
  ⇒ L'instruction `beq OpReg, $0, etiquette` spécifie que l'exécution continue à `etiquette` si `OpReg` est égal à 0
- Il faut organiser le code et positionner des étiquettes pour réaliser ce calcul conditionnel (1 exécution)

```
.data
n:   .word 0xA   # allocation d'un entier initialisé à 10

.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse de n dans $3
   lw $4, 0($3)    # mettre n dans un registre
                   # ici n est dans $4

  # tester si n vaut 0, effectuer le calcul ou non
   beq $4, $0, non_calcul

  # instructions du calcul



non_calcul: # instructions après les itérations du calcul
   ori $2, $0, 10 # fin de programme
   syscall
```

Itérer un calcul `n` fois

- Mettre `n` dans un registre
- Tester si `n` est supérieur à 0 : soit finir l'exécution, soit exécuter le calcul
  $\Rightarrow$ L'instruction `beq OpReg, $0, etiquette` spécifie que l'exécution continue à `etiquette` si `OpReg` est égal à 0
- Il faut organiser le code et positionner des étiquettes pour réaliser ce calcul conditionnel (1 exécution)

```
.data
n:   .word 0xA   # allocation d'un entier initialisé à 10

.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse de n dans $3
   lw $4, 0($3)    # mettre n dans un registre
                   # ici n est dans $4

  # tester si n vaut 0, effectuer le calcul ou non
   beq $4, $0, non_calcul

  # instructions du calcul



non_calcul: # instructions après les itérations du calcul
   ori $2, $0, 10 # fin de programme
   syscall
```

Itérer un calcul n fois

Quand la valeur de n est supérieure à 0 : on exécute le calcul 1 fois puis il faut décrémenter la valeur de n et recommencer le test de positivité de n

⇒ positionner une étiquette avant l'évaluation de la condition (debut)

⇒ revenir à l'évaluation de la condition : saut inconditionnel (j debut)

```
.data
n:   .word 0x0A   # allocation d'un entier initialisé à 10

.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse de n dans $3
   lw $4, 0($3)    # mettre n dans un registre
                   # ici n est dans $4
debut:
  # tester si n vaut 0, effectuer le calcul ou non
   beq $4, $0, non_calcul

  #ici instructions du calcul

  #ici décrémenter $4 et retourner à l'évaluation de la condition

   addi $4, $4, -1
   j debut

non_calcul: # ici instructions après les itérations du cacul
   ori $2, $0, 10 # fin de programme
   syscall
```

Itérer un calcul n fois

Quand la valeur de n est supérieure à 0 : on exécute le calcul 1 fois puis il faut décrémenter la valeur de n et recommencer le test de positivité de n

⇒ positionner une étiquette avant l'évaluation de la condition (debut)

⇒ revenir à l'évaluation de la condition : saut inconditionnel (j debut)

```
.data
n:   .word 0x0A   # allocation d'un entier initialisé à 10

.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse de n dans $3
   lw $4, 0($3)    # mettre n dans un registre
                   # ici n est dans $4
debut:
  # tester si n vaut 0, effectuer le calcul ou non
   beq $4, $0, non_calcul

  #ici instructions du calcul

  #ici décrémenter $4 et retourner à l'évaluation de la condition

   addi $4, $4, -1
   j debut

non_calcul: # ici instructions après les itérations du cacul
   ori $2, $0, 10 # fin de programme
   syscall
```

Iterer n fois un calcul : exemple complet

- Soit n une variable globale entière strictement positive (par exemple 10)
- Effectuer le calcul de la somme des entiers de 1 à n et afficher le resultat

```
.data
n:   .word 0x0A     # allocation d'un entier initialisé à 10

.text
   lui $3, 0x1001  # chargement de l'adresse de n dans $3
   lw $4, 0($3)    # mettre n dans un registre
                   # ici n est dans $4
   xor $5, $5, $5  # registre contenant la somme
debut:
  # tester si n vaut 0, effectuer le calcul ou non
   beq $4, $0, non_calcul

  # instructions du calcul : ajouter n à la somme
   add $5, $5, $4

  # décrémenter $4 et retourner à l'évaluation de la condition
   addi $4, $4, -1
   j debut

non_calcul: # instructions après les itérations du cacul
   ori $4, $5, 0 # affichage de la somme
   ori $2, $0, 1
   syscall
   ori $2, $0, 10 # fin de programme
   syscall
```

Détermination de l'adresse de saut : deux formes d'adressage

Adressage absolu

- Concerne uniquement les instructions de format J
- Le label (sur 26 bits) est une partie de l'adresse à laquelle il faut se brancher
- Ex : `j label` donne `PC := PC[31:28] | I * 4`
- `I` = adresse de la cible du saut privée des bits `31:28` et avec `1:0` nuls

`000010`	Immédiat sur 26 bits

Détermination de l'adresse de saut : deux formes d'adressage

Adressage relatif

- Concerne les instructions `Bxx`
- Le déplacement est relatif à la valeur actuelle de PC
- Ex : `bne $9, $8, label` donne `PC := PC + 4 + (I * 4)`
- `I` = nombre d'instructions entre celle suivant le saut et la destination du saut

000101	Rx	Ry	Immédiat sur 16 bits

Détermination de l'adresse de saut

Conséquences

- Nécessité de connaitre les instructions cibles des sauts et leurs adresses d'implantation pour déterminer la valeur du champ Immédiat dans les formats `J` et `I` pour les sauts
- $\Rightarrow$ L'assemblage nécessite deux passes

Passe 1 : implantation de toutes les instructions

- Assignation des adresses des instructions
- Codage des instruction (sur 32 bits) en laissant les champs `I` des instructions de saut à une valeur qui n'est pas définitive (nulle)

Passe 2 : détermination des champs laissés vides

- Les adressages absolus sont résolus : il suffit de placer la partie de l'adresse de l'instruction vers laquelle on saute dans le champ `I` de l'instruction de saut
- Les adressages relatifs sont calculés en fonction de l'adresse de l'instruction de saut et de l'adresse de l'instruction cible du saut : nombre d'instructions entre les deux

Détermination de l'adresse de saut

Première passe

Langage d'assemblage	Adresse d'implantation	Binaire
`.data`		
`n: .word 0x0A`		
`.text`		
`lui $3, 0x1001`	0x00400000	0x3c031001
`lw $4, 0($3)`	0x00400004	0x8c640000
`xor $5, $5, $5`	0x00400008	0x00a52826
`debut:`		
`beq $4, $0,` **`non_calcul`**	0x0040000c	0x1080**XXXX**
`add $5, $5, $4`	0x00400010	0x00a42820
`addi $4, $4, -1`	0x00400014	0x2084ffff
`j` **`debut`**	0x00400018	0b000010**BB...BB**
`non_calcul:`		
`ori $4, $5, 0`	0x0040001c	0x34a40000
`ori $2, $0, 1`	0x00400020	0x34020001
`syscall`	0x00400024	0x0000000c
`ori $2, $0, 10`	0x00400028	0x3402000a
`syscall`	0x0040002c	0x0000000c

Détermination de l'adresse de saut

Première passe

Langage d'assemblage	Adresse d'implantation	Binaire
`.data`		
`n: .word 0x0A`		
`.text`		
`lui $3, 0x1001`	0x00400000	0x3c031001
`lw $4, 0($3)`	0x00400004	0x8c640000
`xor $5, $5, $5`	0x00400008	0x00a52826
`debut:`		
`beq $4, $0, non_calcul`	0x0040000c	0x1080**0003**
`add $5, $5, $4`	0x00400010	0x00a42820
`addi $4, $4, -1`	0x00400014	0x2084ffff
`j debut`	0x00400018	**0x08100003**
`non_calcul:`		
`ori $4, $5, 0`	0x0040001c	0x34a40000
`ori $2, $0, 1`	0x00400020	0x34020001
`syscall`	0x00400024	0x0000000c
`ori $2, $0, 10`	0x00400028	0x3402000a
`syscall`	0x0040002c	0x0000000c

If-Then

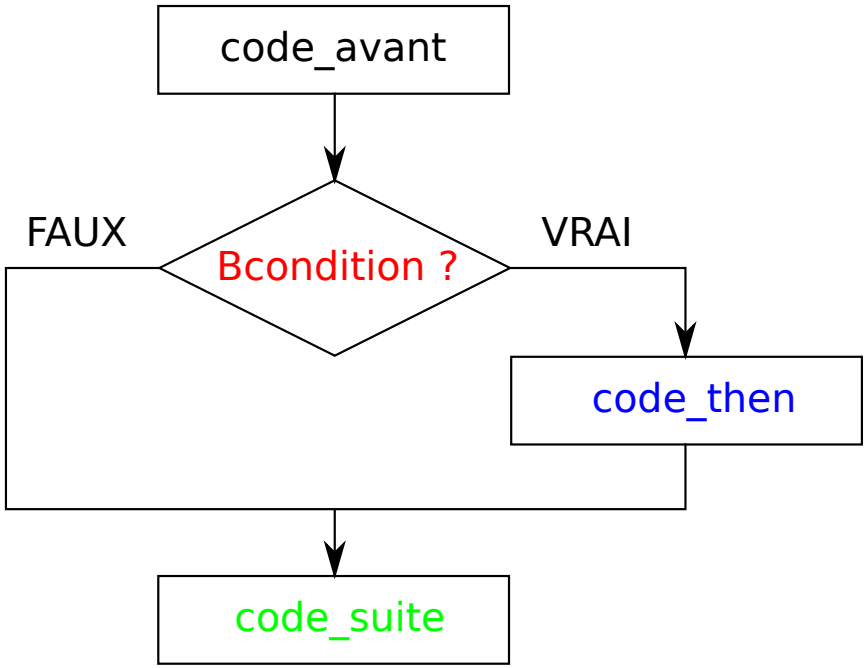
code_avant

if Bcondition ? {

code_then

}

code_suite

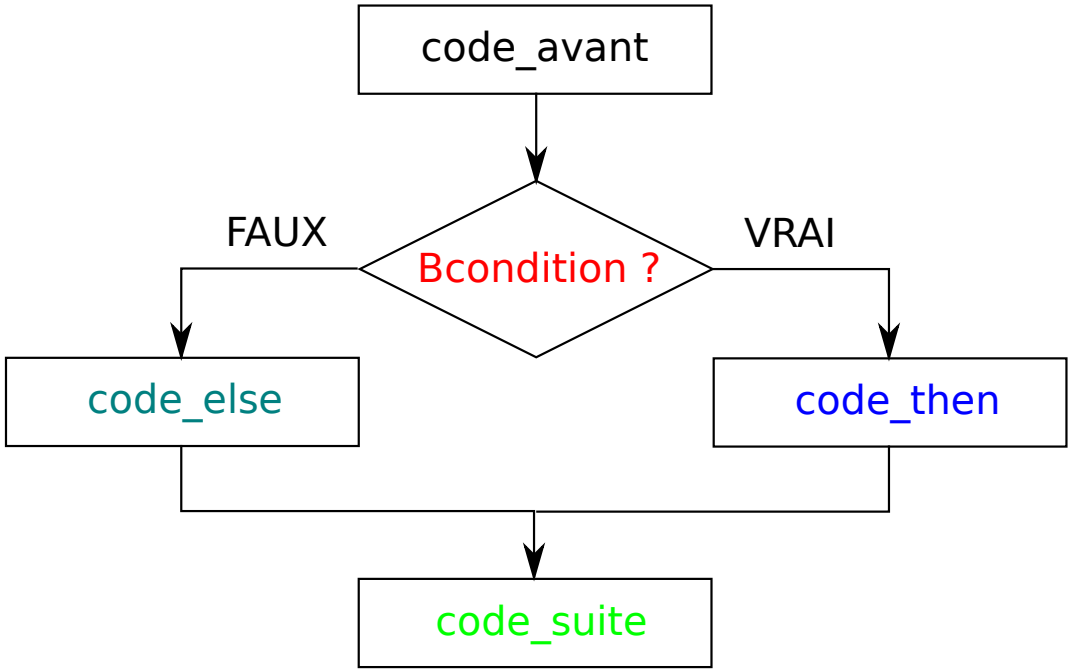


code_avant
Elaboration de Bcondition
Bcondition_vraie LV
J LF
LV: code_then
LF: code_suite

code_avant
Elaboration de Bcondition
Bcondition_fausse LF
code_then
LF: code_suite

If-Then-Else

```
code_avant
if Bcondition ? {
        code_then
}
else {
        code_else
}
code_suite
```

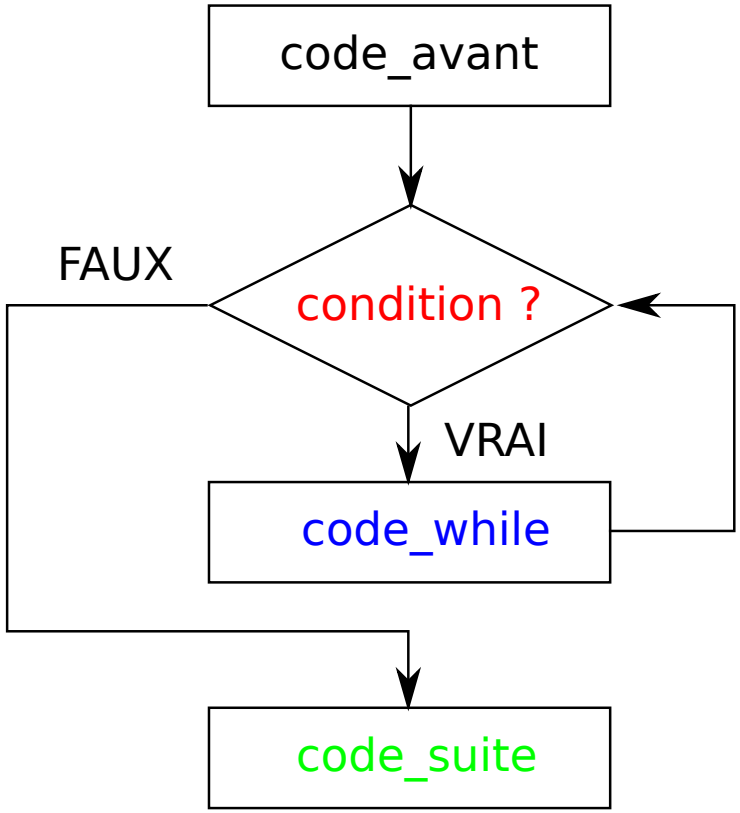



```
                code_avant
                Elaboration de Bcondition
                Bcondition_fausse label_else
                code_then
                J label_fin
label_else:     code_else
label_fin:      code_suite
```

Boucle While

```
code_avant
while condition {
    code_while
}
code_suite
```

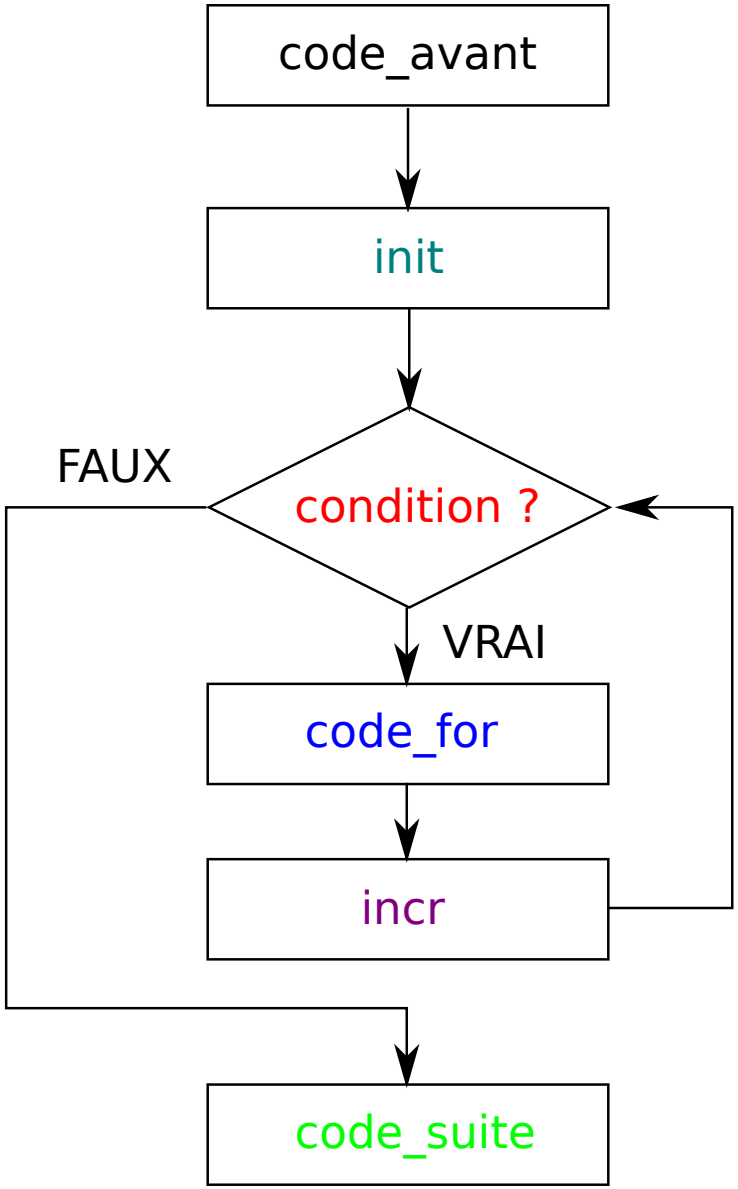
```
            code_avant
label_deb:  Elaboration de condition
            Bcondition_fausse label_fin
            code_while
            J label_deb
label_fin:  code_suite
```



Boucle For

```
code_avant
for ( init ; condition ; incr ) {
        code_for
}
code_suite
```

```
            code_avant
            init
label_deb:  Elaboration de condition
            Bcondition_fausse label_fin
            code_for
            incr
            J label_deb
label_fin:  code_suite
```



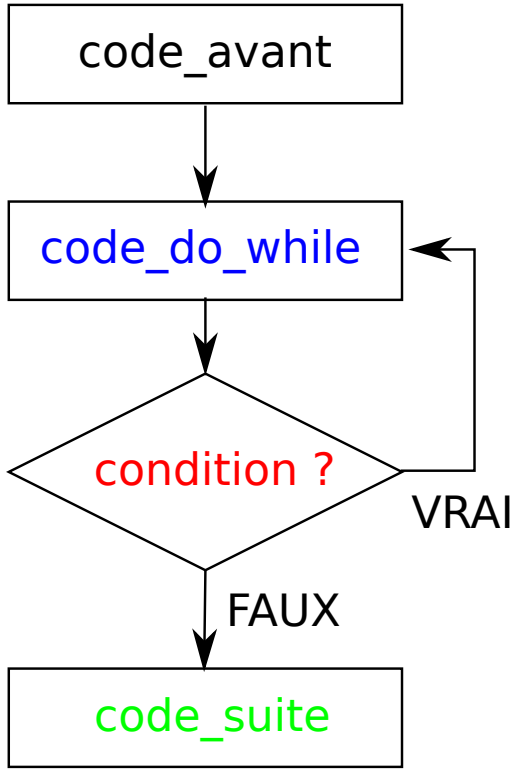
Boucle Do-While

```
code_avant

do {
        code_do_while
}
while ( condition );

code_suite
```

```
            code_avant
label_deb:  code_do_while
            Elaboration de condition
            Bcondition_vraie label_deb
            code_suite
```



Exemple : code C

```c
int i = 0;
char str[] = "une chaine quelconque\n";

int main() {
   printf("%s",str); /* affichage chaine de caracteres */
   while (str[i] != 0) {
      printf("%d", str[i]); /*affichage d'un caractere */
      i += 1;
   }
   return 0;
}
```

Exemple : code assembleur

```
.data
  i: .word 0x0
  str: .asciiz "une chaine quelconque\n"

.text
  lui $16, 0x1001   # $16 = 0x10010000 = @i
  lui $17, 0x1001
  ori $17, $17, 4    # $9 = 0x10010004 = @str

  ori $4, $17, 0     # $4 = @str
  ori $2, $0, 4      # $2 = num affichage chaine
  syscall

  # code de la boucle


  # fin du programme
  ori  $2, $0, 10  # Numéro appel système exit
  syscall
```

Exemple : code assembleur

```
   # code de la boucle
debut:
   # Calcul de la condition et branchement
   lw   $10, 0($16)    # lecture i
   addu $11, $17, $10 # @str[i] = @str + i*1
   lb   $12, 0($11)   # lecture de str[i]
   beq  $12, $0, fin

   # Corps de la boucle
   ori  $2, $0, 1     # Appel système affichage d'un entier
   lb   $4, 0($11)    # Paramètre de l'appel système
   syscall
   lw   $10, 0($16)    # lecture i
   addiu $10, $10, 1 # i + 1
   sw   $10, 0($16)    # écriture i

   # Saut au début de la boucle
   j    debut
fin:
```

Exemple : code assembleur

```
.data
   i: .word 0x0
   str: .asciiz "une chaine quelconque\n"
.text
   lui $16, 0x1001     # $16 = 0x10010000 = @i
   lui $17, 0x1001
   ori $17, $17, 4      # $9 = 0x10010004 = @str
   ori $4, $17, 0       # $4 = @str
   ori $2, $0, 4        # $2 = num affichage chaine
   syscall
debut: # code de la boucle
   # Calcul de la condition et branchement
   lw   $10, 0($16)    # lecture i
   addu $11, $17, $10 # @str[i] = @str + i*1
   lb   $12, 0($11)   # lecture de str[i]
   beq  $12, $0, fin
   # Corps de la boucle
   ori  $2, $0, 1     # Appel système affichage d'un entier
   lb   $4, 0($11)    # Paramètre de l'appel système
   syscall
   lw   $10, 0($16)    # lecture i
   addiu $10, $10, 1 # i + 1
   sw   $10, 0($16)    # écriture i
   # Saut au début de la boucle
   j    debut
fin:
   # fin du programme
   ori  $2, $0, 10     # Numéro appel système exit
   syscall
```

conclusion

On a vu

- Les instructions de saut conditionnel (commencent par `b`) et inconditionnel (commencent pas `j`), ainsi que leur codage binaire
- L'écriture de code comportant des parties exécutées conditionnellement (`if-then` ou `if-then-else`)
- L'écriture de code comportant des itération (boucles)
- Le principe de traduction de structure de contrôle de haut niveau en assembleur.

Vous devez

- Connaitre les instructions de saut et savoir les coder en binaire
- Être capable d'écrire des codes comportant des parties exécutées conditionnellement (`if-then` ou `if-then-else`) et/ou des boucles
- Savoir traduire des codes C (sans variable locale) avec des structures de contrôle en assembleur

Prochain cours : pile d'exécution et variables locales !