Cours Architecture des Ordinateurs
Programmation Assembleur

Jean-Claude Bajard

IUT - université Montpellier 2

Présentation du Pentium

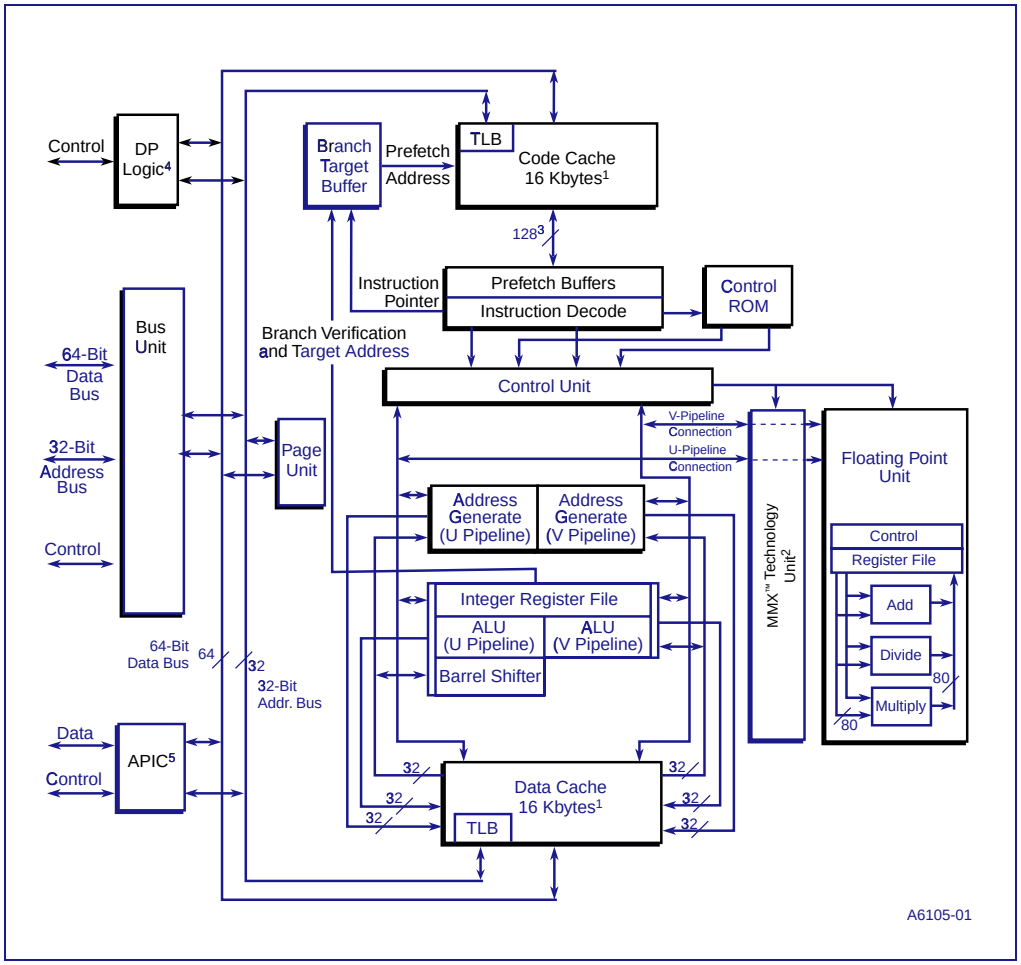
http://developer.intel.com/design/pentium4/manuals/

...

Table 2-1. Processor Performance Over Time and Other Intel Architecture Key Features

Intel Processor	Date of Product Intro-duction	Perform-ance in MIPs[1]	Max. CPU Frequency at Intro-duction	No. of Transis-tors on the Die	Main CPU Register Size[2]	Extern. Data Bus Size[2]	Max. Extern. Addr. Space	Caches in CPU Pack-age[3]
8086	1978	0.8	8 MHz	29 K	16	16	1 MB	None
Intel 286	1982	2.7	12.5 MHz	134 K	16	16	16 MB	Note 3
Intel386™ DX	1985	6.0	20 MHz	275 K	32	32	4 GB	Note 3
Intel486™ DX	1989	20	25 MHz	1.2 M	32	32	4 GB	8KB L1
Pentium®	1993	100	60 MHz	3.1 M	32	64	4 GB	16KB L1
Pentium® Pro	1995	440	200 MHz	5.5 M	32	64	64 GB	16KB L1; 256KB or 512KB L2
Pentium II®	1997	466	266	7 M	32	64	64 GB	32KB L1; 256KB or 512KB L2
Pentium® III	1999	1000	500	8.2 M	32 GP 128 SIMD-FP	64	64 GB	32KB L1; 512KB L2

Figure 2-1. Embedded Pentium® Processor Block Diagram



NOTES:

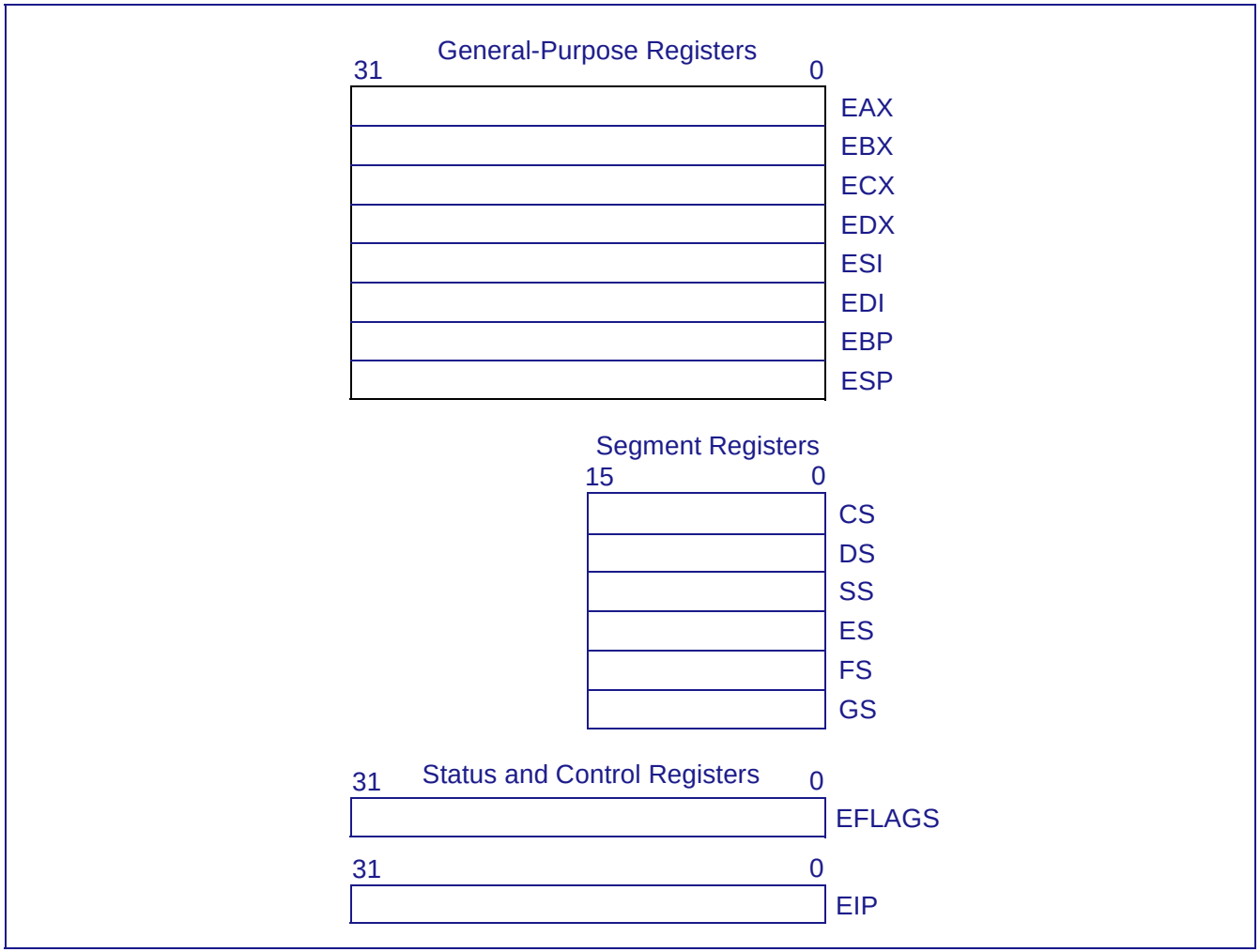


Figure 3-3. Application Programming Registers

Programmation Assembleur format ATT- GNU

http://www.gnu.org/manual/

...

Format d'une instruction assembleur (gnu ATT)

étiquette:	mnémonique	opérandes	#commentaires

- **étiquette:** *adresse effective de l'instruction, utile pour les branchements*
- **mnémonique** *nom générique donné à une instruction : ADD, JUMP...*
- **opérandes** *arguments de l'instruction : 0, 1 ou 2*
- **#commentaires** *non pris en compte au moment de l'assemblage*

Type des opérandes

opérande 1 : source	opérande 2 : destination
registre	registre
immédiat	registre
mémoire	registre
registre	mémoire
immédiat	mémoire

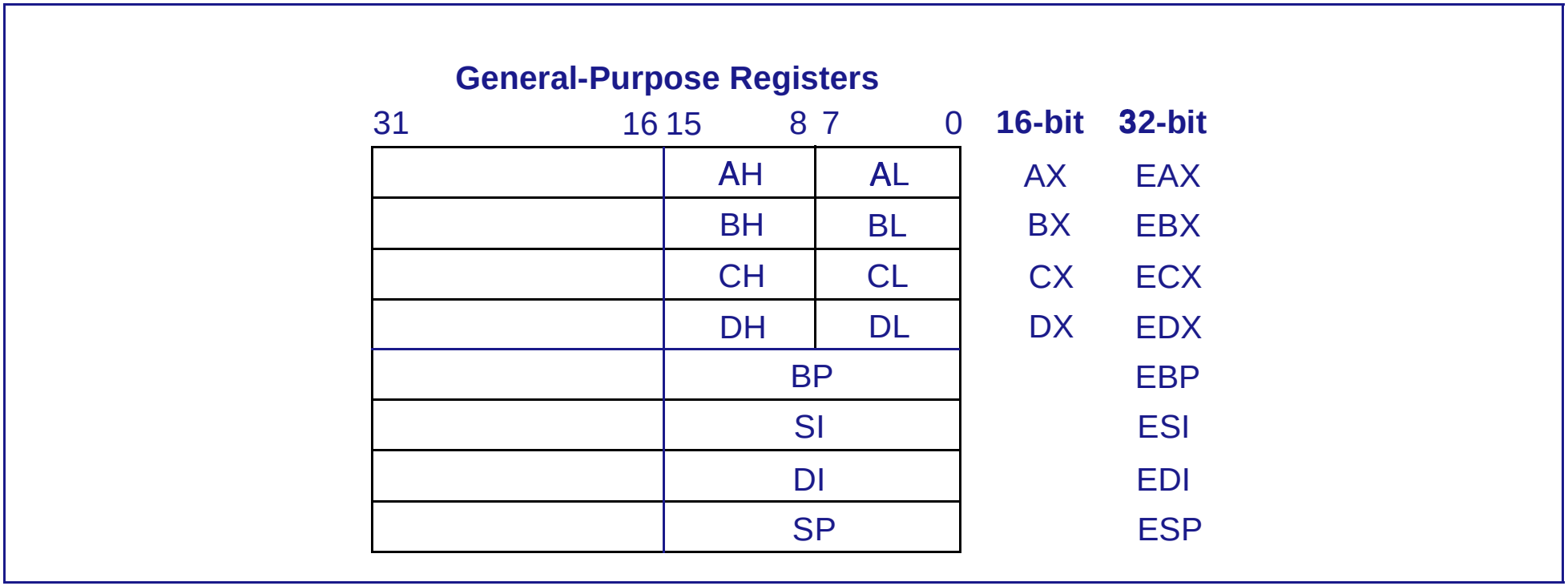


Figure 3-4. Alternate General-Purpose Register Names

Les modes d'adressages de la mémoire

- absolu => 0x8049514
- registre indirecte :
  - base => (%eax)
  - base + déplacement=> 4(%eax)
  - base + index * pas + déplacement => dep(base,index,scale)
    =>4(%eax,%ebx,2)

Les modes d'adressages

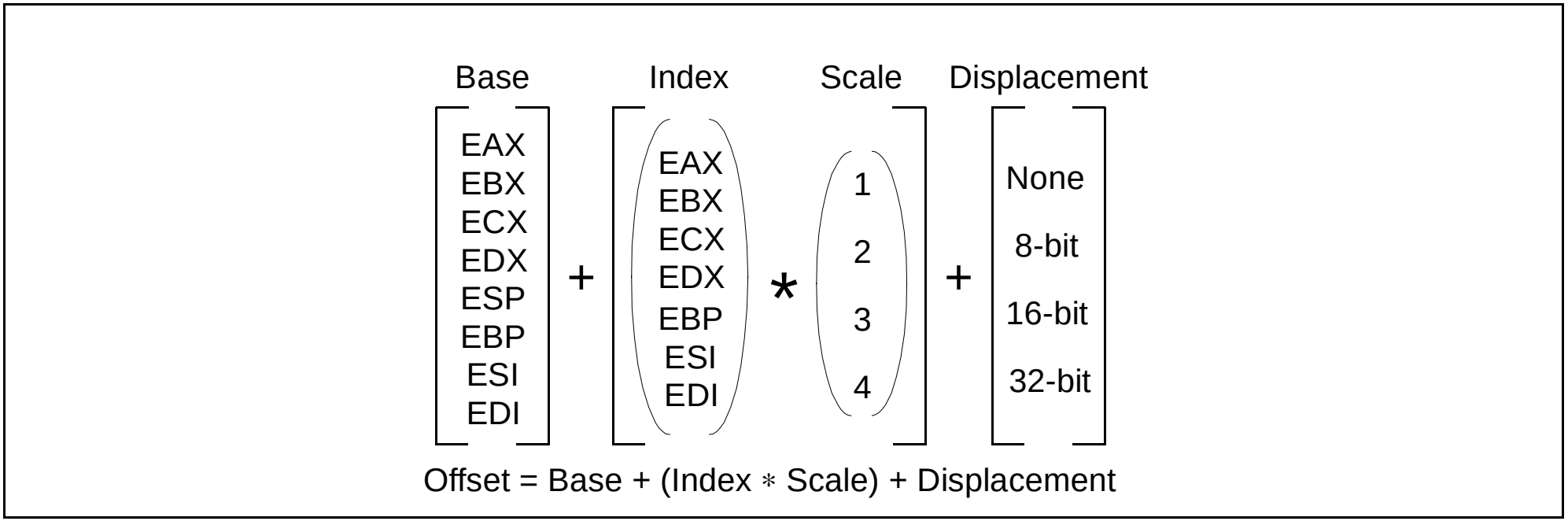


Figure 5-6. Offset (or Effective Address) Computation

Types des instructions

- Transfert : *mouvement de données, MOV*
- Arithmétique et logique : *ADD, AND...*
- Contrôle :
  - *saut conditionnel*
  - *appel de procédure*
- Interruption : *en général : int numéro de 0 à 255*

Format d'une instruction machine

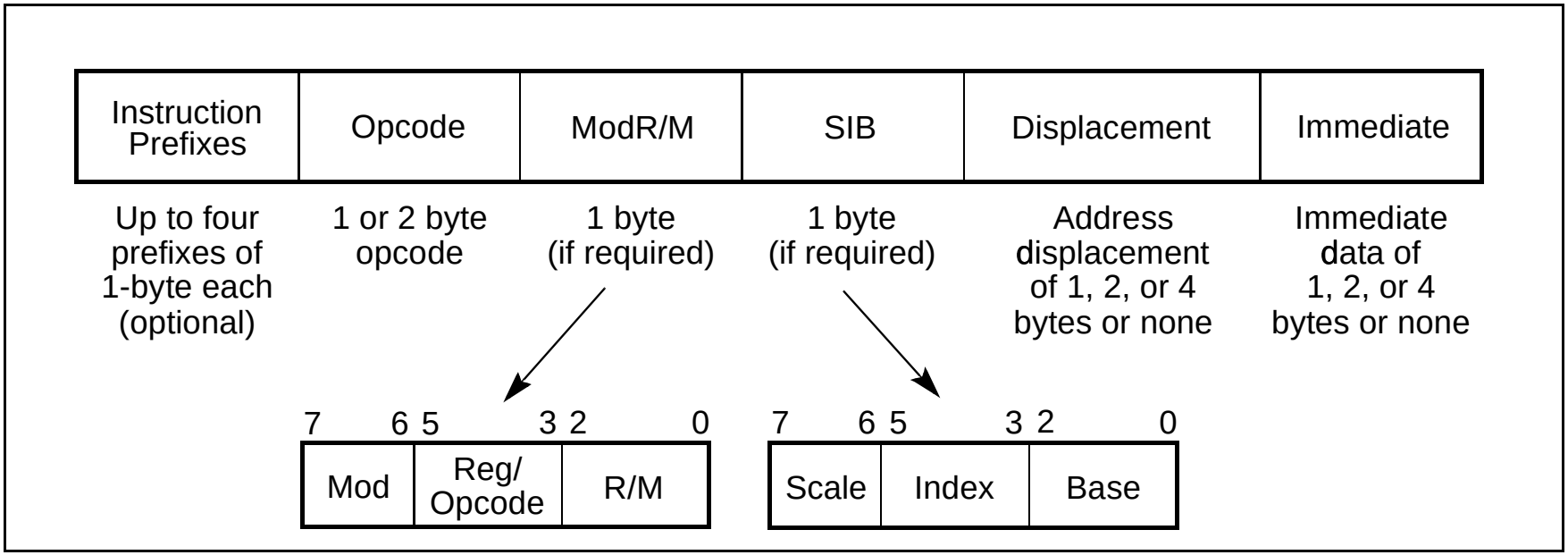


Figure 2-1. Intel Architecture Instruction Format

- longueur d'une instruction de un à 16 octets

Structure d'un programme : les segments

- A l'origine un programme comportait au moins trois segments associés à des registres (16 bits):
  - code : CS EIP => .text
  - données : DS => .data
  - pile : SS ESP=> .bss
- La gestion de la mémoire est fortement liée au système d'exploitation. Elle peut être de deux types : segmentée (8086 avec msdos) ou paginée (linux), l'utilisation des regitres "segment" pour l'adressage physique dépend de cette gestion (voir doc Pentium http://developer.intel.com/design/pentium4/manuals/).

Structure d'un programme :

```
.data
bonjour:
        .string "hello world!\n"
taille:
        .long . - bonjour
.text
.globl main
main:
       ## appel  système de  write ()
        movl $4, %eax            # write () system call
        movl $1,%ebx             # %ebx = 1, fd = stdout
        leal bonjour, %ecx       # %ecx ---> bojour
        movl taille, %edx        # %edx = count
        int $0x80                # execute write () system call
```

```
## appel système de exit ()
xorl %eax, %eax          # %eax = 0
incl %eax                     # %eax = 1 system call _exit ()
xorl %ebx, %ebx          # %ebx = 0 normal program return code
int $0x80                     # execute system call _exit ()
```

Structure d'un programme : les données

- directives :

.byte	octet : 8 bits
.word	mot : 16 bits
.long	double mot : 32 bits
.quad	64 bits
.ascii	caractère ou chaîne
.string	chaîne de caractères terminée par 0

- valeurs :

binaire	0b1001110
octal	012345670
décimal	1234567890
hexadécimal	0x123456789ABCDEF
décimal réel	0f 120.121e-15
ASCII	"..."

Programmation Assembleur
Les instructions

...

...

Instructions de tranfert : mov

mov? Source, Destination

- Destination et Source : registres, variables, adresses
- Source : immédiat

movw $36, %eax 36 → eax | .....?..... | ....36.....

movl %ebx, %eax ebx | .....12..... | → eax | .....12.....

Instructions de tranfert : mov

movl (0x8014), %eax

0x8014 | 0c020381 | → eax | 8103020c |

movw (%ebx), %ax

(ebx | 00000012 |) | 1201 | → eax | ????0112 |

movb $5, (%ebx)

ebx | 00000012 | → 0x12 | 05?? |

movw $2, (%ebx)

ebx | 00000012 | → 0x12 | 0200 |

movl 5(%ebx,%esi,1), %eax

(ebx | 00000012 | esi | 00000003 |) 1A | 0510e1a2 |) → eax | a2e11005 |

Instructions de tranfert : XCHG, LEA

xchg Source, Destination

échange le contenu de Destination et de Source

lea Mémoire , Registre

Chargement d'une adresse effective

```
.data
table   .fill   9       2   5; neuf 5 sur des mots de 2 octets
toto    .long   0x1a        ; adresse donnee + 18
```

lea toto , %eax eax | 00000012 |

Alors que

movl toto, %eax, eax | 0000001a |

Instructions de tranfert : propre au pentium

movsx Source Destination,

avec MOV la source et la destination sont de même type
ici, la source peut être d'un type plus petit
SX, signe extension, le signe de la source est conservé

movsx %al,%ebx al | a3 | → ebx | ffffffa3 |

movzx Source Destination,

ZX, zero extension,

movzx %al ,ebx al | a3 | → ebx | 000000a3 |

Programmation Assembleur
Instructions arithmétiques

http://www.gnu.org/manual/

...

L'addition

add Source, Destination

- Destination + Source $\longrightarrow$ Destination
- Source : immédiat, registre, mémoire
- Destination : registre, mémoire
- opérandes : nombres signés ou non signés
- flag : OF, SF, ZF, AF, CF, et PF

L'addition (exemple)

addl %eax, %ebx

eax $\boxed{00001113}$ +ebx $\boxed{000000a9}$ $\rightarrow$ebx $\boxed{000011bc}$

eflags

OF	SF	ZF	0	AF	0	PF	1	CF
0	0	0	0	0	0	0	1	0

eax $\boxed{00001113}$ +ebx $\boxed{ffffffff}$ $\rightarrow$ebx $\boxed{00001112}$

eflags

OF	SF	ZF	0	AF	0	PF	1	CF
0	0	0	0	1	0	1	1	1

eax $\boxed{ffff1113}$ +ebx $\boxed{a00000a9}$ $\rightarrow$ebx $\boxed{9fff11bc}$

OF	SF	ZF	0	AF	0	PF	1	CF
0	1	0	0	0	0	0	1	1

eax $\boxed{ffff1113}$ +ebx $\boxed{ffffffff}$ $\rightarrow$ebx $\boxed{ffff1112}$

OF	SF	ZF	0	AF	0	PF	1	CF
0	1	0	0	1	0	1	1	1

eax $\boxed{\text{a0000013}}$ +ebx $\boxed{\text{800000a9}}$ $\rightarrow$ebx $\boxed{\text{200000bc}}$

OF	SF	ZF	0	AF	0	PF	1	CF
1	0	0	0	0	0	0	1	1

La soustraction

sub Source, Destination

- Destination − Source → Destination
- Source : immédiat, registre, mémoire
- Destination : registre, mémoire
- opérandes : nombres signés ou non signés
- flag : OF, SF, ZF, AF, CF, et PF

Incrémenter - Décrémenter

inc Destination

dec Destination

- inc :Destination $+ 1 \rightarrow$ Destination
- dec : Destination $- 1 \rightarrow$ Destination
- Destination : registre, mémoire
- flag : OF, SF, ZF, AF et PF, par contre CF n'est pas modifié

La multiplication

mul Source 2

Operand Size	Source 1	Source 2	Destination
Byte	AL	r/m8	AX
Word	AX	r/m16	DX:AX
Doubleword	EAX	r/m32	EDX:EAX

- Source 1 $*$ Source 2 $\rightarrow$ Destination
- Source 2 : registre, mémoire
- Source 1 : registre AL, AX, EAX
- Destination : registre AX, DX:AX, EDX:EAX

- opérandes : non signés

- flag : OF et CF flags sont mis à 0 si la partie haute du résultat est nulle, sinon ils sont mis à 1.

  SF, ZF, AF, et PF ne sont pas définis.

La multiplication signée

- imul Source 2

Source 2 (reg or mem) $*$ AL, AX, or EAX register $\rightarrow$ AX, DX:AX, or EDX:EAX.

CF et OF $=$ 0 si le résultat tient dans la partie basse, sinon CF et OF $=$ 1.

- imul Source Destination

Destination (register) $*$ Source (register or memory or immédiat) $\rightarrow$ Destination

- imul Source 1 Source 2 Destination

Source 1 (register or memory) $*$ Source 2 (immédiat) $\rightarrow$ Destination (register)

- Immediate value is sign-extended to the length of the destination operand format.

La division

div Diviseur

Operand Size	Dividende	Diviseur	Quotient	Reste	Max Quotient
Word/byte	AX	r/m8	AL	AH	255
Doublew/word	DX:AX	r/m16	AX	DX	$65,535$
Quadw/doublew	EDX:EAX	r/m32	EAX	EDX	$2^{32}-1$

- Dividende $=$ Diviser $*$ Quotient $+$ Reste

La division (suite)

- Dividende : AX, DX:AX, EDX:EAX
- Diviseur: regitre ou mémoire
- Quotient : AL, AX ou EAX
- Rest : AH, DX ou EDX
- The CF, OF, SF, ZF, AF, and PF flags are undefined.
- Si Quotient trop gros pour AL, AX ou EAX, alors interruption

La division signée

idiv Diviseur

Operand Size	Dividende	Diviseur	Quotient	Reste	Quotient Range
Word/byte	AX	r/m8	AL	AH	-128 to $+127$
Doublew/word	DX:AX	r/m16	AX	DX	-2^{15} to $2^{15}-1$
Quadw/doublew	EDX:EAX	r/m32	EAX	EDX	-2^{31} to $2^{31}-1$

- Dividende $=$ Diviseur $*$ Quotient $+$ Reste

La division signée (suite)

- Dividende, Diviseur, Quotient , Reste : comme DIV
- The CF, OF, SF, ZF, AF, and PF flags are undefined.
- The sign of the remainder is always the same as the sign of the dividend.
- absolute value of remainder $<$ absolute value of divisor.

Extension de signe

- cbw : extension signée de AL $\longrightarrow$ AX
- cwde : extension signée de AX $\longrightarrow$ EAX
- cwd : extension signée de AX $\longrightarrow$ DX:AX
- cdq : extension signée de EAX $\longrightarrow$ EDX/EAX
- CF, OF, SF, ZF, AF, and PF flags are undefined.

Autres opérateurs

- adc Source , Destination

Destination + Source + CF → Destination

- sbb Source, Destination

Destination − (Source + CF) → Destination

- Source : immédiat, registre, mémoire
- Destination : registre, mémoire
- flag : OF, SF, ZF, AF, CF, et PF

Opérateurs Logiques

- and Source, Destination

Destination AND Source $\rightarrow$ Destination

- or Source, Destination

Destination OR Source $\rightarrow$ Destination

- xor Source, Destination

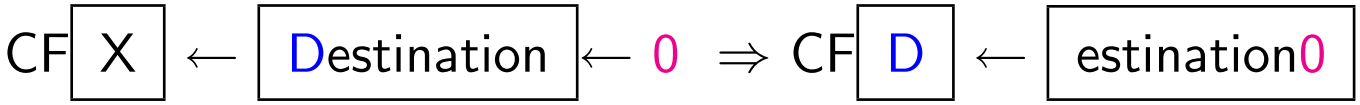
Destination XOR Source $\rightarrow$ Destination

Opérateurs Logiques (suite)

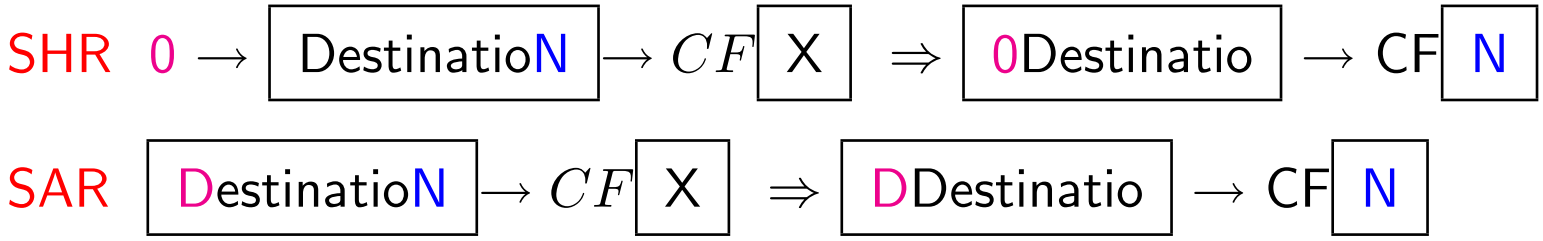
- The OF and CF flags are cleared;
- the SF, ZF, and PF flags are set according to the result.
- The state of the AF flag is undefined.
- NOT Source : complément à un

Décalages

- shl Source, Destination
  sal Source, Destination



- shr Source, Destination
  sar Source, Destination



- Source : CL ou immédiat, au plus 31 Destination, : registre ou mémoire

Rotations

rol Source, Destination
ror Source, Destination
rcl Source, Destination
rcr Source, Destination

- ROL : CF | X | ← | Destination | ⇒ CF | D | ← | estinationD |
- ROR | DestinatioN | → CF | X | ⇒ | NDestinatio | → CF | N |
- RCL : CF | X | ← | Destination | ⇒ CF | D | ← | estinationX |
- RCR | DestinatioN | → CF | X | ⇒ | XDestinatio | → CF | N |
- Source : CL ou immédiat, au plus 31 Destination, : registre ou mémoire

Les branchements
Programmation Assembleur

Jean-Claude Bajard

IUT - université Montpellier 2

Instructions de préparation

CMP Source, Destination

- Destination, : registre, mémoire
- Source : registre, mémoire , immédiat
- effectue Destination - Source : sans affecter Destination
- flag : OF, SF, ZF, AF, CF, et PF

Instructions de préparation

TEST Source, Destination

- Destination, : registre, mémoire
- Source : registre, mémoire , immédiat
- effectue Destination AND Source : sans affecter Destination
- flag : OF=0, SF, ZF, AF, CF=0, et PF

Les Sauts

Deux catégories

- Saut inconditionnel

JMP Adresse

- Saut conditionnel

Jcc Adresse

cc représente la condition

Les Sauts (suite)

- Adresse déplacement relatif à EIP
- Adresse généralement une étiquette dans le code
- Jcc ne supporte pas les sauts lointains

  Exemple: si nous ne pouvons pas faire le saut suivant
  JZ FARLABEL;
  alors on le remplace par

```
        JNZ    BEYOND;
        JMP    FARLABEL;
BEYOND:
```

Les conditions

Instruction Mnemonic	Condition (Flag States)	Description
Unsigned Conditional Jumps		
JA/JNBE	(CF and ZF)=0	Avant/non après ou egal
JAE/JNB	CF=0	Avant ou égal/non après
JB/JNAE	CF=1	Après/non avant ou egal
JBE/JNA	(CF or ZF)=1	Après ou égal/non avant
JC	CF=1	retenue
JE/JZ	ZF=1	egal/nul
JNC	CF=0	pas de retenue
JNE/JNZ	ZF=0	Non égal/non nul
JNP/JPO	PF=0	Non pair/parité impaire
JP/JPE	PF=1	Pair/parité paire
JCXZ	CX=0	Registre CX est zero
JECXZ	ECX=0	Registre ECX est zero

Les conditions (suite)

Instruction Mnemonic	Condition (Flag States)	Description
Signed Conditional Jumps		
JG/JNLE	((SF xor OF) or ZF) =0	Plus grand/no plus petit ou égal
JGE/JNL	(SF xor OF)=0	Plus grand ou égal/non plus petit
JL/JNGE	(SF xor OF)=1	Plus petit/non plus grand ou égal
JLE/JNG	((SF xor OF) or ZF)=1	Plus petit ou égal/non plus grand
JNO	OF=0	Non overflow
JNS	SF=0	Non signe (non-negatif)
JO	OF=1	Overflow
JS	SF=1	Signe (negatif)

Si ??? Alors ... Sinon ...

Exemple

```
...
suite 1
...
Si      A < B
        Alors
                suite 2
                ...
        Sinon
                suite 3
                ...
...
suite 4
...
```

Traduction

```
        ...
        suite 1
        ...
        MOV     $A,%EAX
        CMP     $B,%EAX
        JNL     Sinon
Alors:  suite 2
        ...
        JMP     Finsi
Sinon:  suite 3
        ...
Finsi:  ...
        suite 4
        ...
```

Faire...Tant que ???

Exemple

```
...
suite 1
...
Faire
                ...
                suite 2
                ...
Tant que        A ≥ B
...
suite 3
...
```

Traduction

```
                ...
                suite 1
                ...
Faire:          ...
                suite 2
                ...
                MOV     $A,%EAX
                CMP     $B,%EAX
                JGE     Faire
Finftq:         ...
                suite 3
                ...
```

Tant que ??? Faire ...

Exemple

```
...
suite 1
...
Tant que   A ≥ B   Faire
           ...
           suite 2
           ...
...
suite 3
...
```

Traduction

```
           ...
           suite 1
           ...
Tantque:   MOV    $A,%EAX
           CMP    $B,%EAX
           JNGE   Fintq
           ...
           suite 2
           ...
           JMP    Tantque
Fintq :    ...
           suite 3
           ...
```

Pour i = n à m Faire ...

Exemple

```
...
suite 1
...
Pour     i = n à m (pas =t)
Faire    ...
         suite 2
         ...
...
suite 3
...
```

Traduction

```
         ...
         suite 1
         ...
         MOV     $n,%ECX
Pour:    CMP     $m,%ECX
         JG      Finpour
         ...
         suite 2
         ...
         ADD     $t,%ECX
         JMP     Pour
Finpour : ...
         suite 3
         ...
```

Instruction LOOP

LOOP Adresse (8bits: -128 à 127)

- ECX est utilisé comme compteur
- ECX est décrémenté,
- puis Si ECX $\neq 0$ alors saut vers Adresse ,
- Sinon passage à la suite

Exemple

```
...
suite 1
...
Pour    i = n à 1
Faire   ...
        suite 2
        ...
...
suite 3
...
```

Traduction

```
                ...
                suite 1
                ...
                MOV     $n,%ECX
Pour:           ...
                suite 2
                ...
                LOOP    Pour
Finpour :       ...
                suite 3
                ...
```

Gestion de la PILE
Appel de fonction

Principe d'utilisation de la Pile

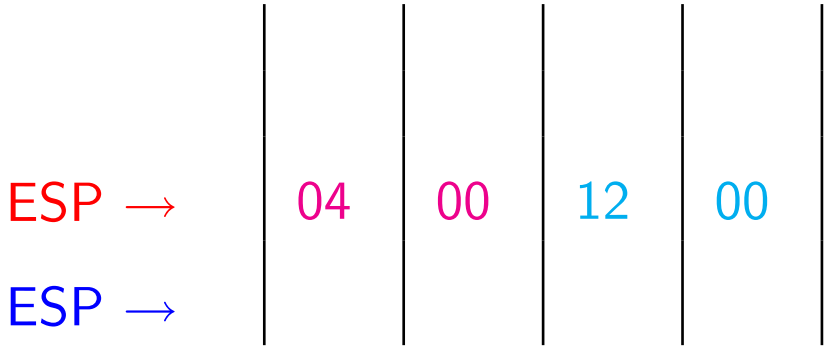
- Place mémoire réservée pour lors de l'exécution d'un programme (sous linux par défaut $2Mo$) : pour les variables locales, pour les sauvegardes d'environnement
- ESP pointe à l'initialisation sur le premier octet hors de la pile
- ESP pointe toujours sur le sommet de la zone occupée
- EBP pour pointer les variables stockées dans la pile

Exemple

- Réservation de quatre octets dans la pile

- ```
  movl   %esp,%ebp
  subl   $4,%esp
  movw   $4,-4(%ebp)
  movw   $12,-2(%ebp)
  ```

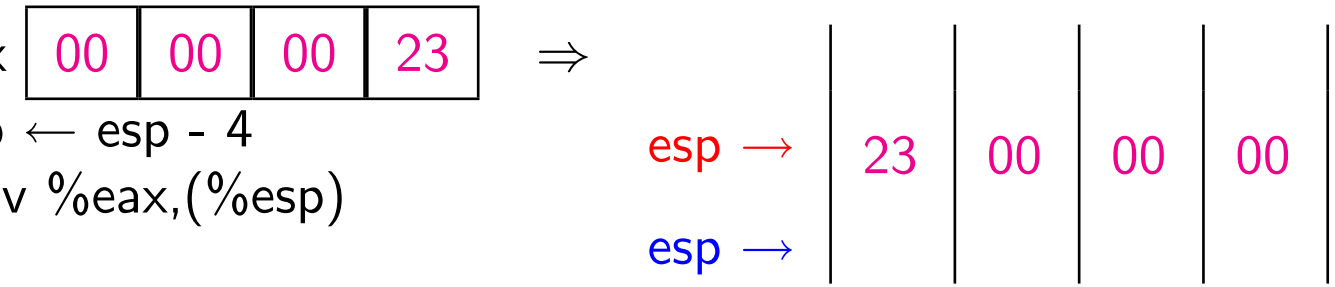
  $\Rightarrow$


  ```

Opérations sur la pile

PUSH Source

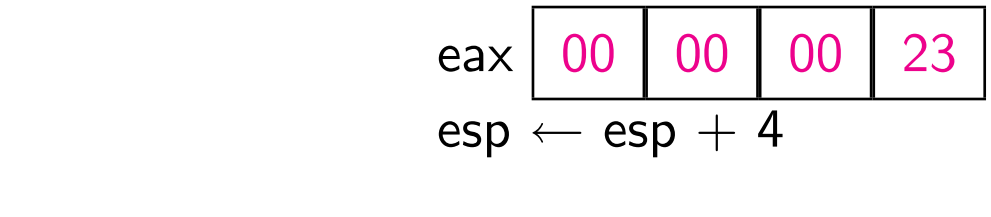
- PUSH décrémente ESP de 2 ou de 4 suivant le type de Source
- Puis met la valeur de Source à l'adresse [ESP]
- mov $0x23,%eax
  push %eax

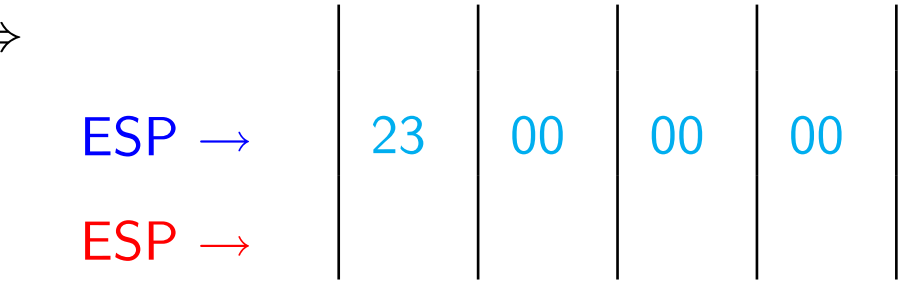


Opérations sur la pile (suite)

POP Source

- POP met la valeur pointée à l'adresse [ESP] dans Source
- Puis incrémente ESP de 2 ou de 4 suivant le type de Source
- pop %eax ⇒ mov (%esp),%eax ⇒





Appel de fonctions

Appel d'une fonction

CALL nomfonction

- CALL : sauvegarde de l'adresse de l'instruction suivant le CALL dans la pile

  traduction :

```
push   %eip
jmp    nomfonction
```

Déclaration d'une fonction

```
nomfonction:
                ...
                suite   instructions
                ...
                ret
```

- ret assure le retour en dépilant l'addresse de l'instruction suivant l'appel

```
RET     $val
```

- traduction :

```
pop     %eip
add     $val, %esp    ;(si arguments)
```

Retour sécurisé

- Pour être certain de dépilé l'adresse de l'instruction suivant le `call`
- En début de fonction :

```
push    %ebp
mov     %esp,%ebp
```

- En fin de fonction :

```
leave
ret
```

- traduction de LEAVE :

```
mov     %ebp, %esp
pop     %ebp
```

Sauvegarde de l'environnement

- Avant l'appel empiler le contenu de tous les registres risquant d'être modifiés dans la procédure

```
PUSHAD          ;empile : EAX, ECX, EDX, EBX, original ESP, EBP, ESI, and EDI
```

- Avant le retour dépiler pour restituer le contenu de tous les registres empilés lors de l'appel POPAD Pop EDI, ESI, EBP, EBX, EDX, ECX, and EAX

```
POPAD           ; dépile : EDI, ESI, EBP, EBX, EDX, ECX, and EAX
```

linux ELF

Directives :

- .globl déclaration pour l'édition de lien
- .type nomfonction,@function déclaration du type

Remarque:

- le corps du programme (main:) peut lui aussi être déclaré comme fonction. C'est même conseillé.

linux ELF

Utilitaire:

- readelf pour lire les différentes informations liées au format ELF: par exemple `readelf -s a.out` pour lire la table des symboles.

Construction de l'exécutable:

- avec gcc
  ```
  gcc toto.s -o toto
  ```

- avec as et ld
  ```
  as toto.s -o toto.o
  ld -e main toto.o -o toto
  ```

résumé

```
.globl      main
.type       main,@function
main:
            push    %ebp
            mov     %esp,%ebp
            ...
            pushad
            call    nomfonction
            popad
            ...
            leave
            ret
```

```
.globl      nomfonction
.type       nomfonction,@function
nomfonction:
            push    %ebp
            mov     %esp,%ebp
            ...
            leave
            ret
```

Passage des arguments

Principe d'utilisation de la pile lors de l'appel:

- empiler les arguments dans l'ordre inverse: argN,...,arg2,arg1

```
push   argN
...
push   arg2
push   arg1
```

- faire l'appel

```
call nomfonction
```

- au retour rétablir le pointeur de pile

```
ret taillearg
```

Passage des arguments: suite

Principe d'utilisation de la pile dans la fonction:

- sauvegarde du pointeur de pile:
  ```
  push   %ebp
  mov    %esp,%ebp
  ```
- reservation de l'espace nécessaire pour les variables locales:
  ```
  sub    $val,%esp
  ```
- localisation par rapport au registre %ebp:
  ```
  +8(%ebp)    pointe sur arg1
  (%ebp)      pointe %esp d'origine
  -4(%ebp)    pointe sur varloc1
  ```
- leave replace le pointeur de pile sur l'appel (%eip suivant)

Variables Locales

- Réservation d'espace dans la pile pour les variables locales :