Assembleur 101

x86/x64

EPITA · APPING2 S7

Auteur(s)	Hugo Sibony
Date	24/12/2025

Table des matières

1 C'est quoi l'assembleur ?

L'assembleur est le langage le plus proche du processeur. Chaque instruction correspond directement à une opération du CPU.

1.1 Exemple simple

En C :

```c
int x = 5;
x = x + 3;
```

En assembleur, on manipule directement les registres du CPU :

```asm
movl $5, %eax       # Met 5 dans le registre EAX
addl $3, %eax       # Ajoute 3 à EAX → EAX contient maintenant 8
```

1.2 Structure d'un fichier assembleur

```asm
.section .data          # Section des données (variables globales)
message: .asciz "Hello" # Une chaîne de caractères

.section .text          # Section du code
.globl ma_fonction      # Rend le symbole visible pour le linker

ma_fonction:            # Étiquette = début de la fonction
    # ton code ici
    ret                 # Retour à l'appelant
```

⋆ Directives importantes

Directive	Rôle
`.section .text`	Code exécutable
`.section .data`	Données initialisées (modifiables)
`.section .rodata`	Données en lecture seule (constantes, chaînes)
`.globl nom`	Exporte le symbole (obligatoire pour que C trouve ta fonction !)
`.ascii "..."`	Chaîne sans `\0` final
`.asciz "..."`	Chaîne avec `\0` final
`.long valeur`	Valeur 32-bit
`.quad valeur`	Valeur 64-bit

2 Les registres : ta mémoire rapide

Les registres sont des « variables » directement dans le CPU. Ils sont ultra-rapides.

2.1 Registres 64-bit (amd64)

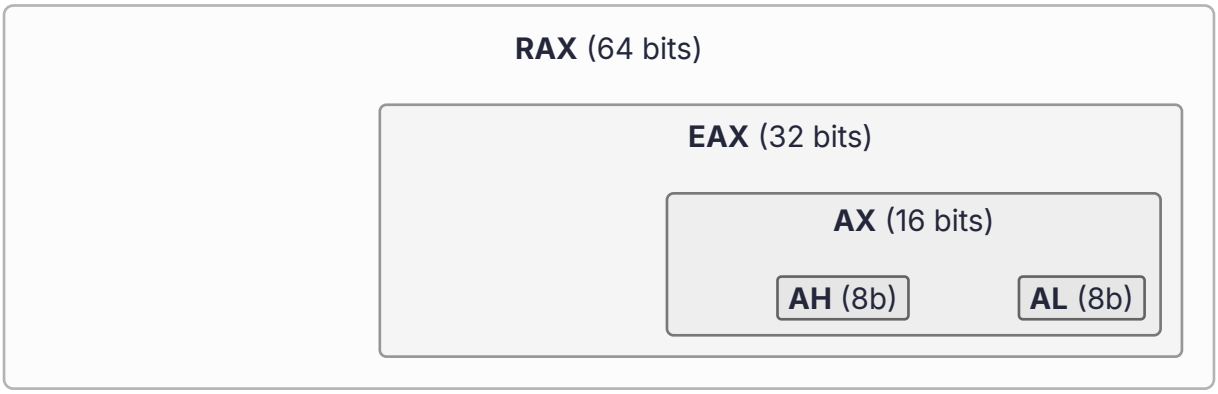
Registre	Rôle
`RAX`	Valeur de retour des fonctions
`RBX`	Usage général (À SAUVEGARDER !)
`RCX`	4ème argument (historiquement : compteur pour les boucles en i386)
`RDX`	3ème argument / utilisé par les divisions
`RSI`	2ème argument
`RDI`	1er argument
`RSP`	Pointeur de pile (NE JAMAIS PERDRE !)
`RBP`	Pointeur de base (À SAUVEGARDER !)
`R8`	5ème argument
`R9`	6ème argument
`R10-R11`	Temporaires
`R12-R15`	Usage général (À SAUVEGARDER !)

2.2 Registres 32-bit (i386)

Registre	Rôle
`EAX`	Valeur de retour
`EBX`	Usage général (À SAUVEGARDER !)
`ECX`	Compteur (pour les boucles)
`EDX`	Données / utilisé par les divisions
`ESI`	Source (À SAUVEGARDER !)
`EDI`	Destination (À SAUVEGARDER !)
`ESP`	Pointeur de pile
`EBP`	Pointeur de base (À SAUVEGARDER !)

2.3 Sous-parties des registres

Un registre 64-bit peut être accédé par morceaux :



! Important

ATTENTION : Écrire dans EAX met les 32 bits hauts de RAX à zéro automatiquement !

```
movq $0xFFFFFFFFFFFFFFFF, %rax    # RAX = 0xFFFFFFFFFFFFFFFF
movl $1, %eax                      # RAX = 0x0000000000000001 (pas 0xFFFFFFFF00000001!)
```

3 Les deux syntaxes : AT&T vs Intel

Tu dois savoir écrire dans les deux syntaxes. Voici les différences :

3.1 Tableau comparatif

Aspect	AT&T	Intel
Ordre	source, destination	destination, source
Registres	`%rax`	`rax`
Immédiats	`$42`	`42`
Mémoire	`8(%rsp)`	`[rsp + 8]`
Taille	Suffixe : `movl` , `movq`	Mot-clé : `DWORD` , `QWORD`

3.2 Exemples côte à côte

Mettre une valeur dans un registre :

AT&T

```
movl $42, %eax
movq $100, %rax
```

Intel

```
mov eax, 42
mov rax, 100
```

Copier un registre dans un autre :

AT&T

```
movq %rdi, %rax
```

Intel

```
mov rax, rdi
```

Lire depuis la mémoire (pile) :

AT&T

```
movl 4(%esp), %eax
```

Intel

```
mov eax, [esp + 4]
```

Écrire en mémoire :

AT&T

```
movq %rax, (%rdi)
movq %rax, 8(%rdi)
```

Intel

```
mov [rdi], rax
mov [rdi + 8], rax
```

3.3 Suffixes de taille (AT&T)

Suffixe	Taille	Registre exemple
`b`	1 octet (byte)	`AL`, `BL`, `CL`, `R8B`
`w`	2 octets (word)	`AX`, `BX`, `CX`, `R8W`
`l`	4 octets (long/dword)	`EAX`, `EBX`, `ECX`, `R8D`
`q`	8 octets (quad)	`RAX`, `RBX`, `RCX`, `R8`

3.4 Template Intel avec GAS

Pour utiliser la syntaxe Intel avec l'assembleur GNU (GAS) :

```
.intel_syntax noprefix    # Active Intel, désactive les préfixes % et $

.text
.globl ma_fonction
ma_fonction:
    # ton code en syntaxe Intel ici
    ret
```

4 Boucles et conditions

4.1 Les flags du CPU

Le CPU possède des « flags » (drapeaux) mis à jour par certaines instructions :
- **ZF** (Zero Flag) : mis à 1 si le résultat est zéro
- **SF** (Sign Flag) : mis à 1 si le résultat est négatif

Les instructions de saut (`jz` , `jnz` , etc.) lisent ces flags pour décider si elles sautent.

4.2 Mettre un registre à zéro

```
xorq %rax, %rax         # RAX = RAX XOR RAX = 0
```

⋆ Astuce

Pourquoi `xor` et pas `movq $0, %rax` ?
- **Plus court :** `xorl %eax, %eax` fait 2 octets vs 5 pour `movl $0, %eax`
- **Plus rapide :** Les CPUs reconnaissent ce pattern et l'optimisent (zero-idiom)
- **Bonus :** Écrire dans EAX met automatiquement les 32 bits hauts de RAX à zéro !

4.3 Comparer deux valeurs : `cmp`

```
cmpq %rsi, %rdi         # Calcule RDI - RSI, met les flags, jette le résultat
```

Après `cmpq %rsi, %rdi` :
- Si RDI == RSI → ZF = 1
- Si RDI < RSI → SF = 1 (pour nombres signés)

4.4 Tester si un registre est zéro : `test`

```
testq %rdi, %rdi        # Calcule RDI AND RDI, met les flags, jette le résultat
```

`RDI AND RDI` = RDI. Donc :
- Si RDI == 0 → résultat = 0 → **ZF = 1**
- Si RDI != 0 → résultat != 0 → **ZF = 0**

C'est la façon standard de tester si un registre vaut zéro.

4.5 Sauts conditionnels

Instruction	Condition (après `cmp b, a` ou `test`)
`je` / `jz`	a == b (ou résultat == 0)
`jne` / `jnz`	a != b (ou résultat != 0)
`jl` / `jg`	a < b / a > b (signé)
`jle` / `jge`	a <= b / a >= b (signé)
`jb` / `ja`	a < b / a > b (non-signé)
`jbe` / `jae`	a <= b / a >= b (non-signé)
`js`	résultat négatif
`jmp`	toujours

⋆ Astuce

Signé vs non-signé : `jl` / `jg` pour int, `jb` / `ja` pour unsigned

4.6 Exemple : condition simple

En C :

```c
if (x == 0) return -1;
return x;
```

En assembleur :

```asm
    testq %rdi, %rdi        # RDI AND RDI → ZF=1 si RDI==0
    jnz not_zero            # saute si ZF=0 (donc si RDI ≠ 0)
    movq $-1, %rax
    ret
not_zero:
    movq %rdi, %rax
    ret
```

4.7 Exemple : boucle while

En C :

```c
int sum = 0;
while (n > 0) { sum += n; n--; }
return sum;
```

En assembleur :

```asm
    xorq %rax, %rax         # sum = 0 (xor avec soi-même = 0)
loop:
    testq %rdi, %rdi        # n == 0 ?
    jz done                 # si ZF=1 (n==0), termine
    addq %rdi, %rax         # sum += n
    decq %rdi               # n--
    jmp loop
done:
    ret
```

4.8 Exemple : parcourir une chaîne

En C :

```c
int len = 0;
while (*s != '\0') { len++; s++; }
return len;
```

En assembleur :

```asm
    xorq %rax, %rax         # len = 0
loop:
    movzbl (%rdi), %ecx     # charge 1 octet à l'adresse RDI dans ECX
    testb %cl, %cl          # octet == 0 ?
    jz done
    incq %rax               # len++
    incq %rdi               # s++ (passe au caractère suivant)
    jmp loop
done:
    ret
```

i Information

`movzbl (%rdi), %ecx` = « Move Zero-extend Byte to Long »

- Lit 1 octet à l'adresse RDI
- L'étend à 32 bits en ajoutant des zéros (zero-extend)
- Le met dans ECX

Équivalent Intel : `movzx ecx, BYTE PTR [rdi]`

4.9 Exemple : boucle for avec tableau

En C :

```c
int sum = 0;
for (int i = 0; i < len; i++) { sum += arr[i]; }
return sum;
```

En assembleur :

```asm
    xorl %eax, %eax         # sum = 0
    xorl %ecx, %ecx         # i = 0
loop:
    cmpl %esi, %ecx         # compare i avec len
    jge done                # si i ⩾ len, termine
    movl (%rdi,%rcx,4), %edx  # edx = arr[i]
    addl %edx, %eax         # sum += arr[i]
    incl %ecx               # i++
    jmp loop
done:
    ret
```

⋆ Adressage indexé

`(%rdi,%rcx,4)` = adresse `RDI + RCX * 4`

- RDI = adresse de base du tableau
- RCX = index
- 4 = taille d'un élément (4 octets pour `int`)

4.10 Astuce : lea pour l'arithmétique

`lea` (Load Effective Address) calcule une adresse sans accéder à la mémoire. C'est un outil puissant pour l'arithmétique !

⋆ Pourquoi utiliser lea au lieu de add/imul ?

- **Ne modifie pas les flags :** Tu peux garder les flags d'un `cmp` / `test` précédent
- **Plusieurs opérations en une :** `lea (%rdi,%rsi,4), %rax` fait `rax = rdi + rsi*4` en une instruction
- **Résultat dans un autre registre :** `lea 1(%rdi), %rax` calcule `rdi + 1` dans `rax` sans toucher `rdi`

AT&T

```
leaq (%rdi,%rsi), %rax    # rax = rdi + rsi
leaq (%rdi,%rdi,4), %rax  # rax = rdi * 5
leaq 1(%rdi), %rax        # rax = rdi + 1
```

Intel

```
lea rax, [rdi + rsi]
lea rax, [rdi + rdi*4]
lea rax, [rdi + 1]
```

⋆ Multiplication par 10 (utile pour atoi)

Pour calculer `result = result * 10 + digit` (où digit est dans RDX) :

```
leaq (%rax,%rax,4), %rax        # rax = rax + rax*4 = rax * 5
leaq (%rdx,%rax,2), %rax        # rax = rdx + rax*2 = digit + (ancien_rax*5)*2
                                #                   = digit + ancien_rax*10
```

Étape par étape : Si RAX=42 et RDX=7 :

- Après 1er lea : RAX = 42 + 42×4 = 210 (soit 42×5)
- Après 2ème lea : RAX = 7 + 210×2 = 427 (soit 7 + 42×10)

5 La division

La division en assembleur est un peu particulière car elle utilise une paire de registres.

5.1 Division 64-bit

```
xorq %rdx, %rdx          # OBLIGATOIRE! Met RDX à 0
divq %rbx                # Divise RDX:RAX par RBX
                         # RAX = quotient
                         # RDX = reste
```

! Important

`xorq %rdx, %rdx` est **obligatoire** avant `divq`. L'instruction divise le nombre 128-bit formé par RDX:RAX. Si RDX contient des valeurs aléatoires, le résultat sera faux.

5.2 Division signée

Pour les nombres signés, utilise `idivq` et `cqto` (sign-extend RAX into RDX:RAX) :

```
cqto                     # Étend le signe de RAX dans RDX
idivq %rbx               # Division signée
```

6 La pile : comment ça marche

La pile est une zone mémoire qui **grandit vers le bas** (adresses décroissantes).

6.1 Opérations de base

```
# PUSH: Empile une valeur
pushq %rax
# Équivalent à:
#   1. RSP = RSP - 8     (la pile grandit vers le bas)
#   2. Écrit RAX à l'adresse RSP

# POP: Dépile une valeur
popq %rax
# Équivalent à:
#   1. Lit la valeur à l'adresse RSP dans RAX
#   2. RSP = RSP + 8     (la pile rétrécit)
```

6.2 Visualisation de la pile après un CALL

Quand le C appelle ta fonction `add(3, 4)` en 32-bit :

```
Adresses hautes
     |
     v
+-----------+
|     4     |  ← ESP + 8  (2ème argument)
+-----------+
|     3     |  ← ESP + 4  (1er argument)
+-----------+
| RetAddr   |  ← ESP      (adresse de retour, poussée par CALL)
+-----------+
     ^
     |
Adresses basses
```

! Important

C'est pour ça que le 1er argument est à ESP+4 et pas ESP+0 ! L'instruction CALL pousse automatiquement l'adresse de retour.

7 Stack Frame et alignement

7.1 Pourquoi 16 octets ?

L'ABI exige : **RSP % 16 == 0 avant chaque** `call` .

7.1.1 C'est quoi SSE ?

SSE (Streaming SIMD Extensions) = instructions qui traitent **plusieurs données en parallèle**.

Le CPU a des registres spéciaux de 128 bits (16 octets) : `XMM0` à `XMM15` .

```
# Registres classiques : 1 opération à la fois
addq %rax, %rbx         # 1 addition 64-bit

# Registres SSE : 4 opérations en parallèle
addps %xmm0, %xmm1      # 4 additions 32-bit en même temps
```

La libc utilise SSE pour optimiser memcpy, strlen, printf, etc. C'est plus rapide.

7.1.2 Pourquoi l'alignement ?

Les instructions SSE qui accèdent à la mémoire (`movaps` , `movdqa`) exigent une adresse divisible par 16. C'est une contrainte hardware : le bus mémoire charge 16 octets alignés plus efficacement.

```
movaps (%rsp), %xmm0    # Charge 16 octets depuis RSP dans XMM0
                        # Si RSP % 16 ≠ 0 → SIGSEGV immédiat
```

Si ta pile est mal alignée quand tu appelles printf → printf utilise `movaps` → crash.

7.2 Le mécanisme

Suivons RSP pas à pas avec des vraies valeurs :

```
1. Quelqu'un appelle ta fonction
   RSP = 0x7fff0010 (multiple de 16 ✓)

2. L'instruction CALL s'exécute
   - Pousse l'adresse de retour (8 octets)
   - RSP = 0x7fff0010 - 8 = 0x7fff0008

3. Tu entres dans ta fonction
   RSP = 0x7fff0008 → 0x7fff0008 % 16 = 8 × DÉSALIGNÉ
```

Problème : À l'entrée de ta fonction, RSP est TOUJOURS désaligné de 8.

7.3 Comment réaligner

Tu dois soustraire 8 octets (ou un nombre impair de fois 8) pour revenir à un multiple de 16.

7.3.1 Solution 1 : un seul push

```
func:
    pushq %rbx          # RSP -= 8
    # RSP était 0x7fff0008, maintenant 0x7fff0000 ✓

    call printf@PLT     # OK, RSP aligné

    popq %rbx
    ret
```

Calcul : `0x7fff0008 - 8 = 0x7fff0000` → `0x7fff0000 % 16 = 0` ✓

7.3.2 Solution 2 : sub direct

```
func:
    subq $8, %rsp       # Même effet qu'un push

    call printf@PLT

    addq $8, %rsp
    ret
```

7.3.3 Solution 3 : frame pointer

```
func:
    pushq %rbp          # RSP -= 8 → aligné
    movq %rsp, %rbp
    subq $32, %rsp      # 32 octets de variables locales (multiple de 16)

    # Variables : -8(%rbp), -16(%rbp), -24(%rbp), -32(%rbp)

    leave               # RSP = RBP, pop RBP
    ret
```

Pourquoi `sub $32` et pas `sub $24` si j'ai 3 variables de 8 octets ?

```
Après push %rbp :  RSP = 0x7fff0000 (aligné)
Après sub $24 :    RSP = 0x7fff0000 - 24 = 0x7ffefff8
                   0x7ffefff8 % 16 = 8 ×

Après sub $32 :    RSP = 0x7fff0000 - 32 = 0x7ffefff0
                   0x7ffefff0 % 16 = 0 ✓
```

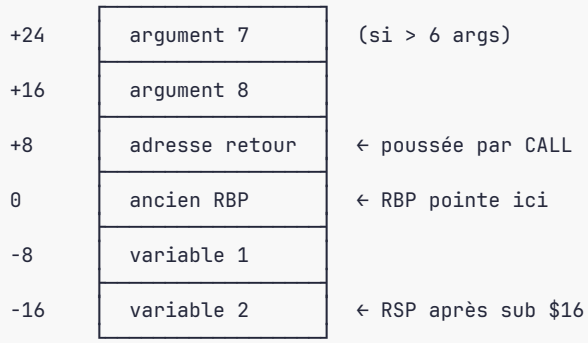
Règle : après le `push %rbp`, alloue toujours un multiple de 16.

7.4 Résumé visuel

```
                      RSP % 16
                      ────────
Avant call            0        ✓ aligné
Après call (entrée)   8        × désaligné
Après 1 push          0        ✓ aligné
Après 2 push          8        × désaligné
Après 3 push          0        ✓ aligné
```

Pattern : nombre impair de push → aligné. Nombre pair → désaligné.

7.5 Stack frame complet



Accès : `movq -8(%rbp), %rax` pour lire variable 1.

7.6 Erreur classique

```
# FAUX - va segfault
func:
    call printf@PLT     # RSP = 8 mod 16 → CRASH
    ret

# CORRECT
func:
    pushq %rbx
    call printf@PLT     # RSP = 0 mod 16 → OK
    popq %rbx
    ret
```

! Important

Debug : Dans GDB, avant un call suspect : `p $rsp % 16`

Si ça affiche 8 → ta pile est mal alignée.

8 L'ABI : le contrat entre fonctions

L'ABI (Application Binary Interface) définit les règles pour que les fonctions puissent s'appeler correctement.

8.1 ABI i386 (32-bit)

Catégorie	Valeur
Arguments	Sur la pile : `[ESP+4]` , `[ESP+8]` , `[ESP+12]` ...
Retour	EAX
Libres	EAX, ECX, EDX
À sauvegarder	EBX, ESI, EDI, EBP

8.2 ABI amd64 (64-bit)

Catégorie	Valeur
Arguments	RDI, RSI, RDX, RCX, R8, R9 (dans cet ordre)
Retour	RAX
Libres	RAX, RCX, RDX, RSI, RDI, R8-R11
À sauvegarder	RBX, RBP, R12-R15
Pile	RSP multiple de 16 avant `call`

8.3 Sauvegarder les registres : quand et comment ?

Si ta fonction utilise un registre « callee-saved » (comme RBX), tu DOIS :

1. Le sauvegarder au début (avec push)
2. Le restaurer à la fin (avec pop)

```
ma_fonction:
    pushq %rbx              # Sauvegarde RBX

    # ... tu peux utiliser RBX ici ...

    popq %rbx               # Restaure RBX
    ret
```

Si tu utilises uniquement des registres « caller-saved » (RAX, RDI, RSI...), pas besoin de les sauvegarder.

9 Appeler des fonctions C depuis l'assembleur

9.1 Recette

1. Mettre les arguments dans RDI, RSI, RDX, RCX, R8, R9
2. Aligner la pile (RSP doit être multiple de 16 avant `call`)
3. `call fonction@PLT` → résultat dans RAX

9.2 Alignement de la pile

À l'entrée de ta fonction, RSP = 8 mod 16 (l'adresse de retour a été pushée).

Solution simple : `pushq %rbx` avant le `call` (ajoute 8 octets → RSP multiple de 16).

Solution avec frame pointer (recommandée pour fonctions complexes) :

AT&T :

```
ma_fonction:
    pushq %rbp
    movq %rsp, %rbp
    subq $16, %rsp

    # ... ton code ...
    # Variables locales: -8(%rbp), -16(%rbp)

    leave
    ret
```

Intel :

```
ma_fonction:
    push rbp
    mov rbp, rsp
    sub rsp, 16

    ; ... ton code ...
    ; Variables locales: [rbp-8], [rbp-16]

    leave
    ret
```

⋆ Astuce

`leave` = restaure RSP depuis RBP puis dépile RBP. Pratique pour nettoyer le stack frame.

9.3 @PLT et @GOTPCREL

Quand tu appelles des fonctions de la libc ou accèdes à des variables globales externes :

```
# Appeler une fonction externe (printf, puts, getline, etc.)
call printf@PLT           # @PLT = Procedure Linkage Table

# Accéder à une variable globale externe (stdin, stdout, stderr)
movq stdin@GOTPCREL(%rip), %rdx   # Charge l'ADRESSE de stdin depuis la GOT
movq (%rdx), %rdx                 # Charge la VALEUR de stdin (le FILE*)
```

i Information

Pourquoi @PLT ? Le linker dynamique résout l'adresse de la fonction au runtime.

Pourquoi @GOTPCREL ? Les variables globales externes sont dans la Global Offset Table.

9.4 lea vs mov

```
leaq msg(%rip), %rdi      # RDI = ADRESSE de msg (pour passer une chaîne)
movq var(%rip), %rdi      # RDI = CONTENU de var (pour lire une variable)
```

9.5 Exemple : appeler puts

```
.section .rodata
msg: .asciz "Hello"

.section .text
.globl exemple
exemple:
    pushq %rbx                  # Aligne la pile
    leaq msg(%rip), %rdi        # arg1 = adresse de msg
    call puts@PLT
    popq %rbx
    ret
```

9.6 printf avec plusieurs arguments

```
    leaq format(%rip), %rdi     # arg1: format string
    movq %rcx, %rsi             # arg2: valeur à afficher
    xorl %eax, %eax             # RAX = 0 (pas d'arguments flottants)
    call printf@PLT
```

! Important

`xorl %eax, %eax` est obligatoire avant printf/scanf (fonctions variadiques).

9.7 Fonctions fichiers de la libc

Fonctions pour manipuler des fichiers :

Fonction	Prototype	Description
`fopen`	`FILE *fopen(char *path, char *mode)`	Ouvre un fichier, retourne NULL si erreur
`fclose`	`int fclose(FILE *stream)`	Ferme un fichier
`fgetc`	`int fgetc(FILE *stream)`	Lit un caractère, retourne −1 (EOF) si fin
`fputc`	`int fputc(int c, FILE *stream)`	Écrit un caractère
`putchar`	`int putchar(int c)`	Écrit un caractère sur stdout

⋆ Astuce

Modes fopen : `"r"` = lecture, `"w"` = écriture (crée/écrase)

10 Les syscalls : parler au noyau Linux

10.1 Différence avec les fonctions C

! Important

ATTENTION : Pour les syscalls, le 4ème argument est dans **R10**, pas RCX ! (L'instruction `syscall` utilise RCX en interne pour sauvegarder RIP)

	Fonctions C	Syscalls
4ème arg	RCX	**R10**
Appel	`call func`	`syscall`
Erreur	Variable	RAX négatif

10.2 Structure d'un syscall

```
movq $NUMERO, %rax      # Numéro du syscall
movq arg1, %rdi         # 1er argument
movq arg2, %rsi         # 2ème argument
movq arg3, %rdx         # 3ème argument
movq arg4, %r10         # 4ème argument (ATTENTION: R10, pas RCX!)
movq arg5, %r8          # 5ème argument
movq arg6, %r9          # 6ème argument
syscall                 # Exécute le syscall
# Résultat dans RAX (négatif = erreur)
```

10.3 Numéros et arguments

#	Nom	Arguments
0	read	fd, buffer, count → nb octets lus
1	write	fd, buffer, count → nb octets écrits
2	open	path, flags, mode → fd
3	close	fd
9	mmap	addr, len, prot, flags, fd, offset → ptr

10.4 File descriptors standards

Nom	Valeur	Description
stdin	0	entrée standard
stdout	1	sortie standard
stderr	2	erreur standard

10.5 Flags pour open()

Constante	Valeur	Description
`O_RDONLY`	`0`	Lecture seule
`O_WRONLY`	`1`	Écriture seule
`O_RDWR`	`2`	Lecture et écriture
`O_CREAT`	`0x40`	Créer si n'existe pas
`O_TRUNC`	`0x200`	Tronquer si existe

⋆ Astuce

Pour ouvrir en écriture avec création : `O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC = 0x241`

10.6 Flags pour mmap()

Constante	Valeur
`PROT_READ`	1
`PROT_WRITE`	2
`MAP_PRIVATE`	`0x02`
`MAP_ANONYMOUS`	`0x20`

⋆ Astuce

Pour allouer de la mémoire :

- `prot = 3` (PROT_READ | PROT_WRITE = 1 | 2)
- `flags = 0x22` (MAP_PRIVATE | MAP_ANONYMOUS = 0x02 | 0x20)
- `fd = -1` (pas de fichier, mapping anonyme)
- `offset = 0`

10.7 mmap() pour allouer de la mémoire

```
movq $9, %rax           # syscall mmap
xorq %rdi, %rdi         # addr = NULL
movq $SIZE, %rsi        # len = taille voulue
movq $3, %rdx           # prot = PROT_READ | PROT_WRITE
movq $0x22, %r10        # flags = MAP_PRIVATE | MAP_ANONYMOUS
movq $-1, %r8           # fd = -1
xorq %r9, %r9           # offset = 0
syscall
# RAX = pointeur vers la mémoire allouée (ou négatif si erreur)
```

10.8 Gestion des erreurs

Les syscalls retournent une valeur négative en cas d'erreur :

```
syscall
testq %rax, %rax    # SF=1 si RAX négatif
js erreur           # Jump if Sign (si négatif)
```

11 Debugger avec GDB

11.1 Lancer GDB

```
gdb ./mon_programme
```

Commande	Description
`break add`	Breakpoint sur la fonction add
`run`	Lancer
`stepi`	1 instruction (entre dans les calls)
`nexti`	1 instruction (saute les calls)
`continue`	Continuer
`info registers`	Voir les registres
`p/x $rax`	Afficher RAX en hexa
`x/s $rdi`	Afficher la chaîne pointée par RDI
`x/10x $rsp`	10 valeurs hexa depuis RSP

11.2 Exemple de session

```
$ gdb ./mon_programme
(gdb) break add              ← point d'arrêt sur ta fonction
(gdb) run                    ← lance le programme
Breakpoint 1, add ()
(gdb) info registers rdi rsi ← regarde les arguments
rdi            0x3
rsi            0x4
(gdb) stepi                  ← exécute 1 instruction
(gdb) info registers rax     ← vérifie le résultat
(gdb) continue               ← continue l'exécution
```

12 Aide-mémoire

12.1 Conventions d'appel

Type	Arguments	Retour
Fonctions C (amd64)	RDI, RSI, RDX, RCX, R8, R9	RAX
Syscalls (amd64)	RDI, RSI, RDX, **R10**, R8, R9 (numéro dans RAX)	RAX
i386	[ESP+4], [ESP+8], ...	EAX

12.2 Callee-saved (à sauvegarder)

Arch	Registres
amd64	RBX, RBP, R12-R15
i386	EBX, ESI, EDI, EBP

12.3 Syscalls

#	Nom	Args
0	read	fd, buf, count
1	write	fd, buf, count
2	open	path, flags, mode
3	close	fd
9	mmap	addr, len, prot, flags, fd, off

12.4 Templates

amd64 AT&T

```
.text
.globl func
func:
    ret
```

amd64 Intel

```
.intel_syntax noprefix
.text
.globl func
func:
    ret
```

i386

```
.text
.globl func
func:
    ret
```