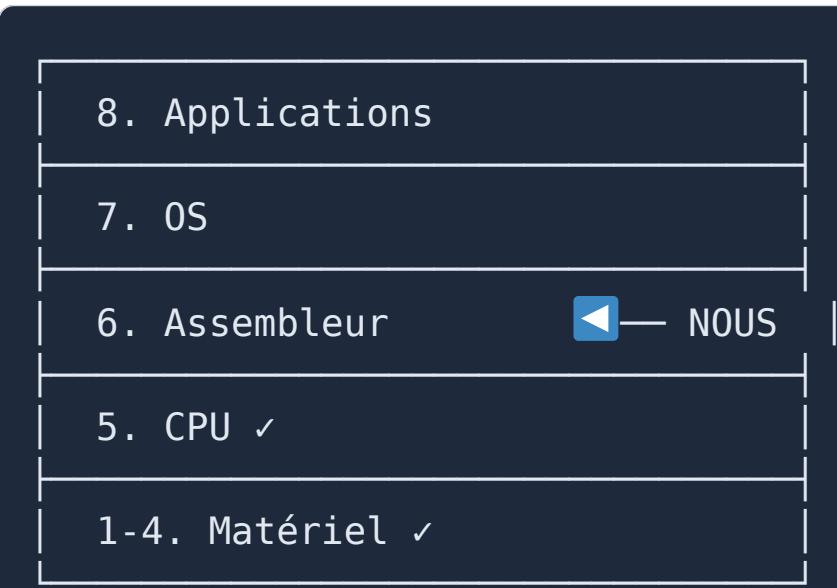


Chapitre 06 : L'Assembleur

"Traduire, c'est trahir ?" — Pas ici.

Où en sommes-nous ?



Première étape dans le monde du logiciel !

Le Problème

Écrire un programme en hexadécimal :

```
0xE2801001  
0xE2822003  
0xE0813002  
0xEAFFFFE
```

Illisible

C'est source d'erreurs et impossible à maintenir !

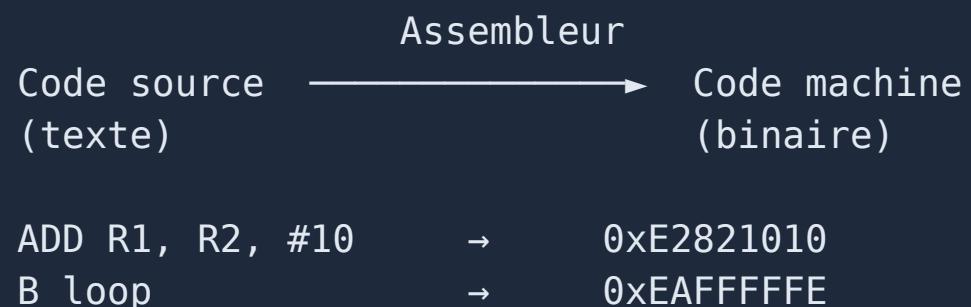
La Solution : L'Assembleur

Un programme qui traduit :

```
ADD R1, R1, #1
ADD R2, R2, #3
ADD R3, R1, R2
B loop
```

```
0xE2811001
0xE2822003
0xE0813002
0xEAFFFFFE
```

Du Texte au Binaire



L'assembleur

Un traducteur fidèle : 1 instruction assembleur = 1 instruction machine

Les Trois Tâches de l'Assembleur

1 Analyse (Parsing)

Lire et comprendre les instructions

2 Résolution des Symboles

Transformer les labels en adresses

3 Encodage

Générer le binaire 32 bits

Le Problème des Références

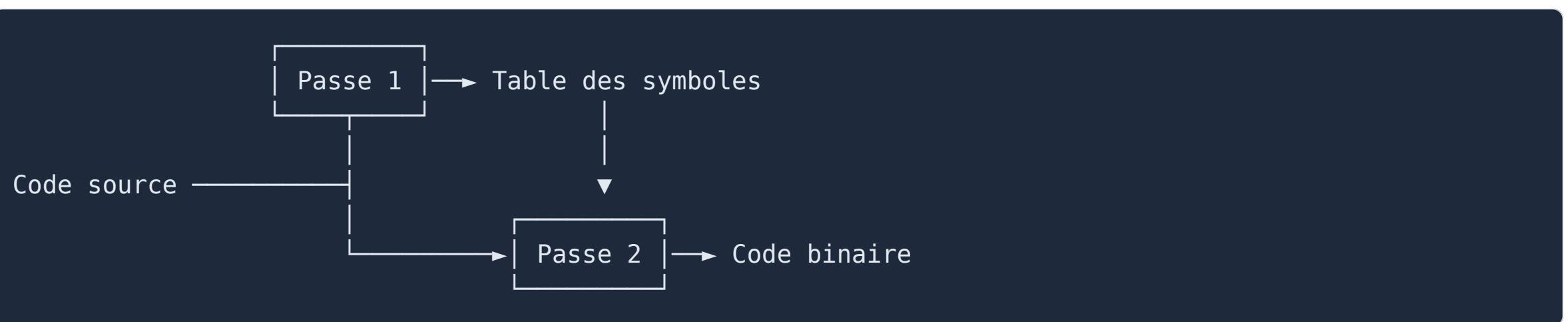
```
B suite    ; Où est 'suite' ? On ne sait pas encore !
MOV R0, #1
suite:
ADD R0, R0, #1
```

À la ligne 1, l'assembleur ne connaît pas l'adresse de `suite`.

Référence vers l'avant (Forward Reference)

Un symbole utilisé avant d'être défini

La Solution : Deux Passes



Passe 1 : Table des Symboles

Parcourir le fichier et noter chaque label :

```
Adresse 0x0000 : B suite          (4 octets)
Adresse 0x0004 : MOV R0, #1        (4 octets)
Adresse 0x0008 : suite:           ← Note : suite = 0x0008
```

Table des symboles

```
{ "suite": 0x0008 }
```

Passe 2 : Génération

Reparcourir le fichier avec la table :

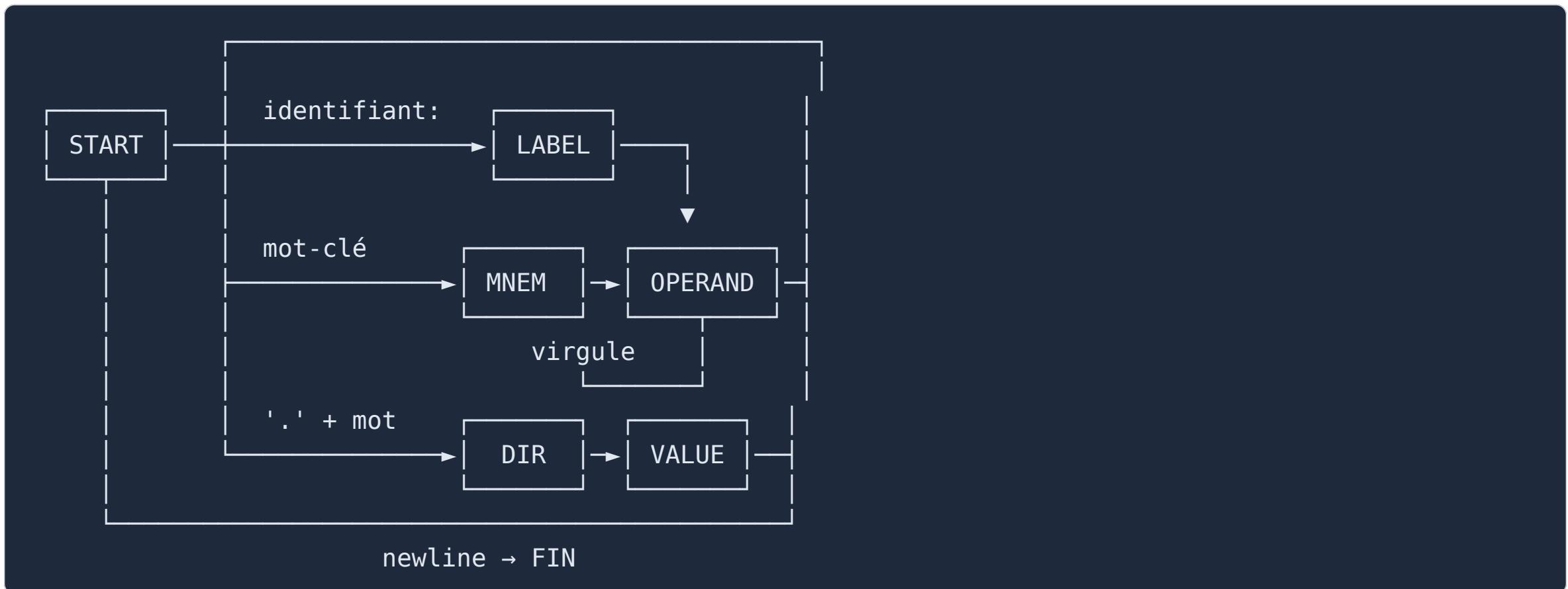
```
B suite → cherche "suite" dans la table → 0x0008
```

```
offset = (0x0008 - 0x0000 - 8) / 4 = -2
```

```
→ 0xEFFFFFFE
```

Maintenant toutes les références sont résolues !

Processus du Tokenizer



Les Sections

Section	Contenu
.text	Le code (instructions)
.data	Variables initialisées
.bss	Variables non initialisées

```
.text
    MOV R0, #1
    LDR R1, [R2]
.data
    .word 42
```

Les Directives

Directive	Effet	Exemple
.text	Section code	.text
.data	Section données	.data
.global	Exporte un symbole	.global main
.word	Réserve 4 octets	.word 42
.asciz	Chaîne + '\0'	.asciz "Hello"
.align	Aline en mémoire	.align 2

Exemple : Encoder ADD R1, R2, #10

Étape 1 : Identifier les composants

Champ	Valeur
Mnémonique	ADD → opcode = 0100
Rd	R1 → 0001
Rn	R2 → 0010
Immédiat	#10 → 0x00A

Classe : 001 (data processing immédiat)

Étape 2 : Assembler les Bits

31-28	27-25	24-21	20	19-16	15-12	11-0
Cond	Class	Op	S	Rn	Rd	Imm12
1110	001	0100	0	0010	0001	000000001010

- Cond = 1110 (AL)
- Class = 001 (imm)
- Op = 0100 (ADD)
- S = 0 (pas de flags)
- Rn = 0010 (R2)
- Rd = 0001 (R1)

Résultat : 0xE2821010

Le Problème des Grandes Constantes

12 bits d'immédiat maximum !

```
MOV R0, #0xDEADBEEF ; ERREUR ! Trop grand
```

Limitation

Impossible d'encoder plus de 12 bits d'immédiat

La Solution : Pseudo-instruction

La syntaxe spéciale LDR Rd, =valeur :

```
LDR R0, =0xDEADBEEF
```

L'assembleur la transforme en :

```
LDR R0, [PC, #offset]    ; Va chercher en mémoire  
...  
literal_pool:  
    .word 0xDEADBEEF    ; La valeur est stockée ici
```

Le Literal Pool

Adresse	Contenu
0x0000	LDR R0, [PC, #8] ; PC+8 = 0x000C
0x0004	...
0x0008	...
0x000C	0xDEADBEEF ; ← Literal pool

Literal Pool

Zone de données après le code où sont stockées les grandes constantes

Patterns Idiomatiques en Assembleur

Boucle for :

```
MOV R0, #0          ; i = 0
loop:
    CMP R0, #10
    B.GE done
    ; ... corps
    ADD R0, R0, #1
    B loop
done:
```

If/else :

```
CMP R0, #0
B.EQ else
; ... then
B endif
else:
    ; ... else
endif:
```

Pattern : Appel de Fonction

```
; Appelant
    MOV R0, #5          ; argument 1
    MOV R1, #3          ; argument 2
    BL ma_fonction     ; appel
; R0 contient le retour

ma_fonction:
    PUSH {LR}           ; sauver l'adresse de retour
    ADD R0, R0, R1      ; R0 = arg1 + arg2
    POP {PC}            ; retour
```

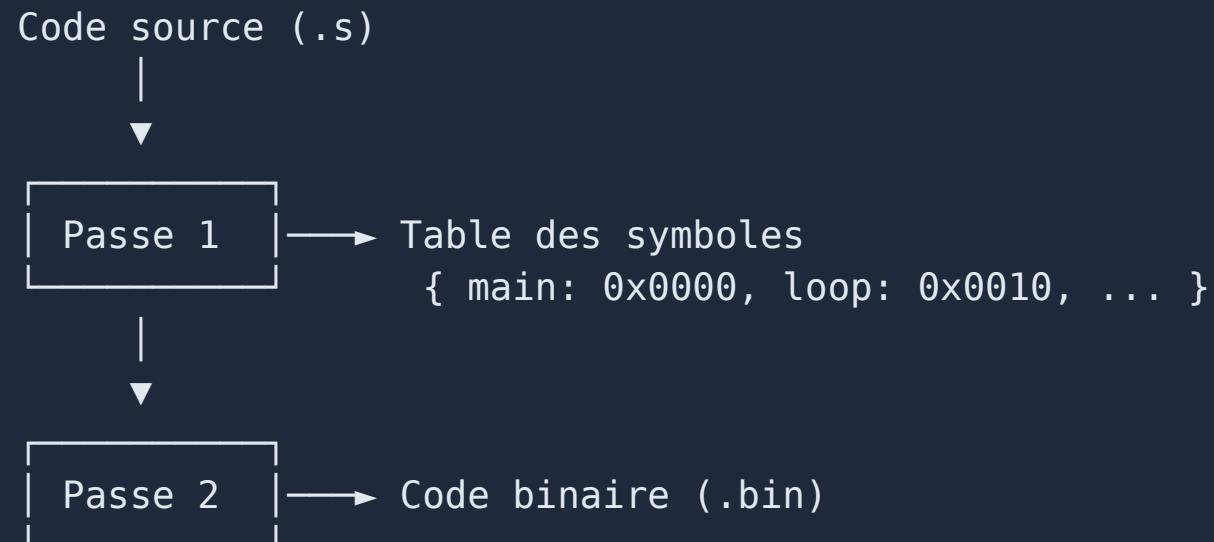
Pattern : Sauvegarde Registres

```
ma_fonction:  
    PUSH {R4-R7, LR} ; sauver callee-saved  
  
    ; utiliser R4-R7 librement  
    MOV R4, R0  
    ...  
  
    POP {R4-R7, PC} ; restaurer et retourner
```



Convention ARM : R4-R11 doivent être préservés par l'appelé (callee-saved).

Résumé du Pipeline Assembleur



Utilisation Pratique

```
# Assembler un fichier  
cargo run -p a32_cli -- assemble prog.s -o prog.bin  
  
# Examiner le binaire  
hexdump -C prog.bin  
  
# Désassembler  
cargo run -p a32_cli -- disasm prog.bin  
  
# Simuler l'exécution  
cargo run -p a32_cli -- run prog.bin
```

Exemple Complet : Somme 1 à N

```
.text
.global main

main:
    MOV R0, #0          ; sum = 0
    MOV R1, #1          ; i = 1
    LDR R2, =10         ; n = 10
loop:
    CMP R1, R2
    B.GT done
    ADD R0, R0, R1      ; sum += i
    ADD R1, R1, #1       ; i++
    B loop
done:
    HALT               ; R0 = 55
```

Questions de Réflexion

1. Pourquoi deux passes et pas une seule ?
2. Que se passe-t-il si on référence un label non défini ?
3. Pourquoi l'offset des branches est-il divisé par 4 ?
4. Comment l'assembleur gère-t-il les erreurs de syntaxe ?
5. Quelle est la taille maximale d'un literal pool ?

Ce qu'il faut retenir

1. **Assembleur = Traducteur** : Texte → Binaire (1:1)
2. **Deux passes** : Symboles puis code
3. **Directives** : .text , .data , .word , .align
4. **Literal pool** : Pour les grandes constantes
5. **Label = Adresse** : Un nom devient un nombre
6. **Patterns** : Boucles, conditions, appels standardisés

Questions ?



Référence : Livre Seed, Chapitre 06 - Assembleur



Exercices : TD et TP + Simulateur Web

Prochain chapitre : Compilateur (C32 → Assembleur)