

# TP 6

## Construisons le LC-3 - partie 1

Fichiers fournis : LC3\_etu.circ, tp6\_add\_simple.mem

### 6.1 Le circuit LC-3

Récupérez le fichier LC3\_etu.circ et ouvrez-le avec LOGISIM. Ce fichier contient une implémentation partielle du LC-3, dans laquelle seules les instructions ADD, AND, NOT sont câblées, même si d'autres infrastructures sont déjà en place pour plus tard.

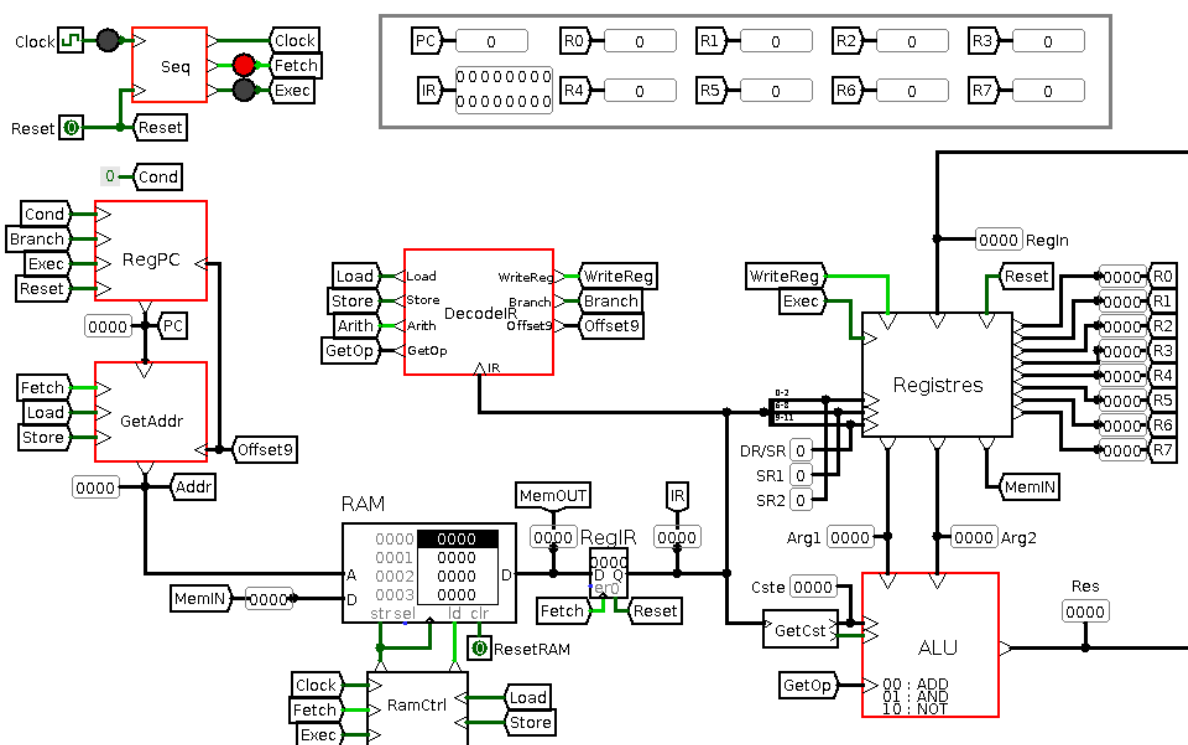


FIGURE 6.1 – Le circuit LC-3 fourni, onglet principal

**Bref mode d'emploi.** Pour simuler l'exécution de programmes LC-3 avec ce circuit :

- Entrez dans la RAM les octets d'un programme LC-3, d'une des trois manières suivantes :
  - En mode "Poke", on peut directement cliquer sur une case de la RAM et la remplir au clavier.
  - En faisant un clic-droit sur la RAM, on peut choisir "Edit Contents", ce qui ouvre un éditeur.
  - Le menu obtenu par un clic-droit sur la RAM propose aussi "Load Image" pour charger dans la RAM le contenu d'un fichier mémoire (voir ci-dessous).
- Pour faire avancer la simulation d'un programme, il faut changer l'état de l'horloge (Clock) du circuit (c'est-à-dire lui faire passer un front montant ou un front descendant) : vous pouvez soit cliquer sur le bouton d'horloge (en haut à gauche du circuit), soit envoyer un tic manuel *via* Ctrl1-T.
- Si vous souhaitez relancer l'exécution du programme (remettre PC à 0, et vider le banc de registres), mettez l'horloge Clock à son niveau bas, puis faites passer l'entrée Reset à 1, puis de nouveau à 0.

**Fichier mémoire.** Un fichier mémoire chargeable dans une RAM LOGISIM est un simple fichier texte dont la première ligne est `v2.0 raw`. Viennent ensuite les différents octets de la mémoire en hexadécimal. Voir la section “Memory Components” de la documentation LOGISIM pour plus de détails. Voici par exemple le contenu du fichier `tp6_add_simple.mem` :

```
v2.0 raw
5020 1025 5260 1266 1440
```

Ce programme correspond au code en langage d’assemblage contenu dans le fichier `tp6_add_simple.mem` :

Listing 6.1 – `tp6_add_simple.mem`

```

1      .ORIG x0000                                ; code hexa
2      AND R0,R0,0                                ; 5020
3      ADD R0,R0,5      ; R0 <- 5                ; 1025
4      AND R1,R1,0                                ; 5260
5      ADD R1,R1,6      ; R1 <- 6                ; 1266
6      ADD R2,R1,R0      ; R2 <- R1 + R0        ; 1440
7      .END

```

### EXERCICE 1 ► Simulation d’un programme

Ouvrez le circuit `LC3_etu.circ`, puis récupérez le programme `tp6_add_simple.mem` sur la page du cours. Chargez-le dans la RAM et lancez sa simulation. Observez en particulier l’évolution des contenu des registres (PC, IR, R0, ..., R7).

### EXERCICE 2 ► Cycle d’instruction

Placez vous dans le sous-circuit `Seq` (Figure 6.2), et expérimentez. Représenter les signaux `Clock`, `Fetch` et `Exec` sur un chronogramme, en supposant que `ClockOrig` est un signal créneau périodique. Que se passe-t-il quand `Reset` est activé, puis relâché un peu plus tard? Quel est le rôle joué par ce circuit dans cette implantation du LC-3?

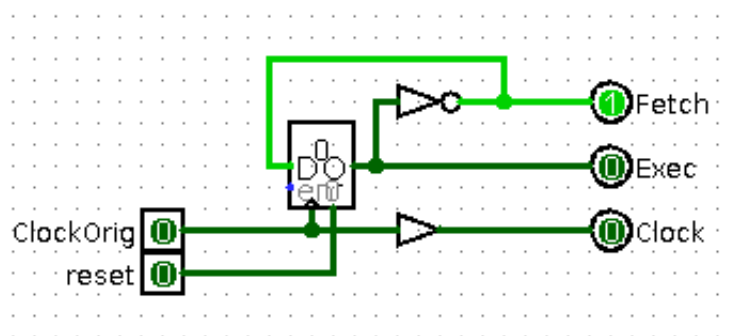


FIGURE 6.2 – Composant `Seq` du LC-3

## 6.2 L’unité arithmétique et logique

Placez-vous dans le module `ALU` (Figure 6.3), qui contient l’unité arithmétique et logique. Notez l’usage d’un multiplexeur, qui sélectionne parmi quatre entrées (dont une actuellement non affectée) en fonction d’un fil de contrôle sur 2 bits.

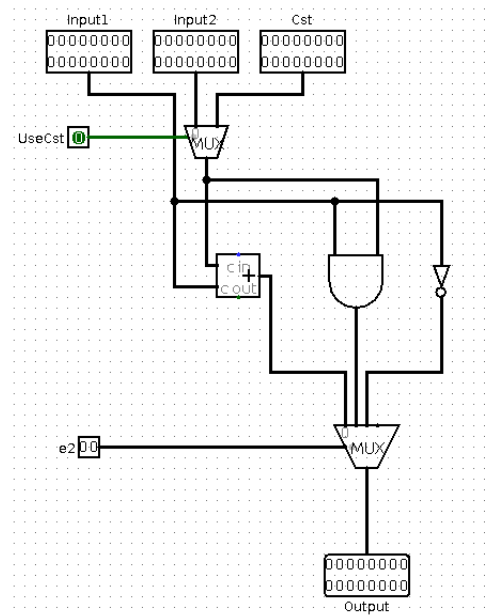


FIGURE 6.3 – Composant ALU du LC-3

**EXERCICE 3 ► Valeurs de contrôle**

Expérimentez différentes valeurs pour  $e_1$  et  $e_2$ . Quelles valeurs donner à  $e_1$  et  $e_2$  pour :

- obtenir en sortie le ET bit à bit de Input1 et Input2?
- obtenir l'addition de Input1 et Cst
- obtenir le NON bit à bit de Input1 ?

**EXERCICE 4 ► Contrôle de l'ALU**

Reprenez le jeu d'instructions du LC-3 (cf cours). Les opérandes des instructions arithmétiques sont soit deux registres, soit un registre et une constante littérale.

- Comment sont différenciés les deux cas ?
- Quels bits différencient les opcodes des instructions arithmétiques ADD, AND et NOT? Déduisez-en à quoi devront être branchés  $e_1$  et les deux bits de  $e_2$  dans le circuit complet.

## 6.3 Exécution des instructions arithmétiques

On suppose que vous avez ouvert le circuit `LC3_etu.circ`, puis chargé le programme `tp6_add_simple.mem` dans la RAM : servez vous de la simulation de ce programme pour répondre aux questions suivantes.

**EXERCICE 5 ► Phase Fetch**

1. En observant le module RegPC, expliquez comment est calculé  $PC+1$ . A quel instant  $PC+1$  remplace PC?
2. Lors du cycle du chargement, comment une instruction est-elle chargée dans le registre RegIR?
3. Pour l'instant, on n'exécute que des instructions arithmétiques. Expliquez les valeurs de sorties produites par DecodeIR.

**EXERCICE 6 ► Phase Exec**

1. Observez le fonctionnement du module Registres : pourquoi utiliser trois ports de lecture? Dans quel cas sera utilisé le port de lecture OUT (SR) ?

2. En vous plaçant dans la phase exec de l'instruction `ADD R0,R0,5` (de code `x1025` en mémoire), expliquez comment est exécutée cette instruction. Comment les opérandes sources sont amenées à l'ALU? Comment le résultat de l'opération est rangé dans le registre destination? A quel instant le résultat est définitivement stocké?

### EXERCICE 7 ► Chronogramme

En supposant que l'horloge générale `Clock` du circuit est un signal créneau périodique, représentez l'évolution de l'état du circuit sur un chronogramme au cours des cycles des deux premières instructions du programme `tp6_add_simple.mem`. Vous représenterez les signaux suivants : `Clock`, `Fetch`, `Exec`; les valeurs suivantes : `PC`, `IR`, `GetOp`, `R0`, `R1` sur la Figure 6.4.

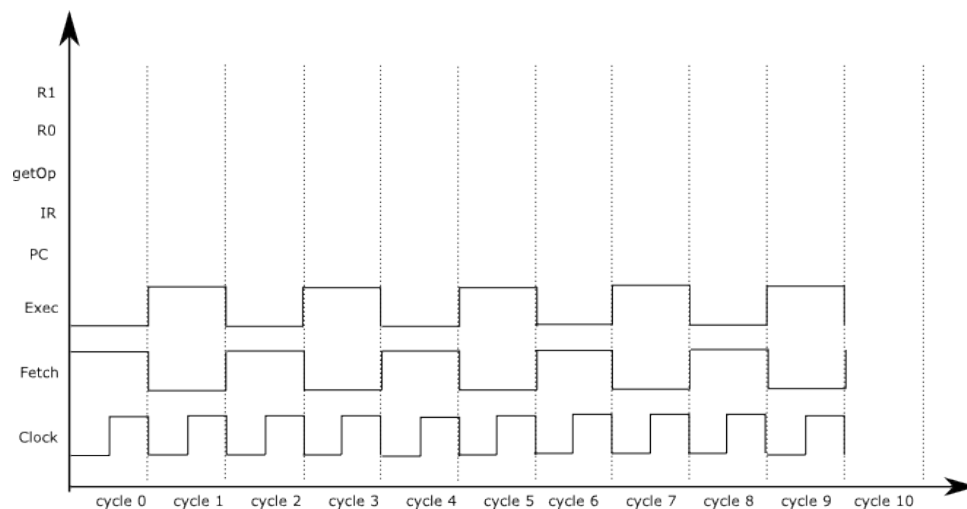


FIGURE 6.4 – Chronogramme pour AddSimple

## 6.4 Pour la suite...

### EXERCICE 8 ► Un programme

Préparez un fichier `cst2007.mem` contenant les instructions en langage machine pour charger 2007 dans le registre `R1`. Pour cela utilisez soit un éditeur de texte séparé, soit l'éditeur hexadécimal intégré puis l'entrée de menu "Save Image". Simulez ce programme : que constatez-vous?

### EXERCICE 9 ► Opcode LC-3

Construisez la table de vérité de toutes les instructions du LC-3 en fonction des 4 bits de l'opcode (cette table sera utile plus tard). Que pouvez-vous observer? Comment caractériser les instructions qui peuvent modifier des registres `R0`, ..., `R7`?