

# Single-Cycle RISC-V

## Labor Architecture des ordinateurs

## Contenu

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| 1 Introduction .....             | 1 |
| 2 Architecture .....             | 2 |
| 2.1 Analyse .....                | 2 |
| 3 Control Unit .....             | 4 |
| 3.1 Réalisation .....            | 4 |
| 4 Simulation .....               | 6 |
| 4.1 Analyse .....                | 7 |
| 5 Déploiement (facultatif) ..... | 8 |
| 5.1 EBS3 .....                   | 8 |
| Glossaire .....                  | 9 |



## 1 Introduction

Ce laboratoire permet d'approcher l'architecture [Reduced Instruction Set Computer \(RISC-V\)](#) à l'aide d'un processeur supportant un set d'instructions réduit, capable d'exécuter un petit programme assembleur en ne nécessitant qu'un seul coup de clock par instruction (single-cycle). Nommé **HEIRV32\_SC**, ce dernier peut être simulé ou déployé directement sur une puce [Field-Programmable Gate Array \(FPGA\)](#). La connexion avec le monde extérieur peut se faire à l'aide de boutons et de leds.



## 2 Architecture

Hormis l'incrémentation du program counter, le reste du circuit fonctionne de manière purement combinatoire. Une instruction est donc exécutée à chaque coup de clock. Le circuit est donné dans la Figure 1:

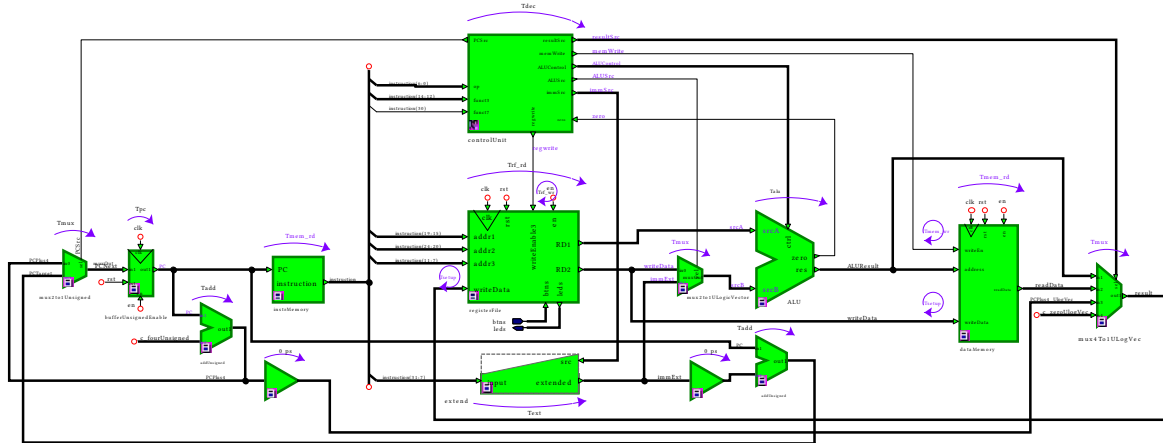


Figure 1 - Top level

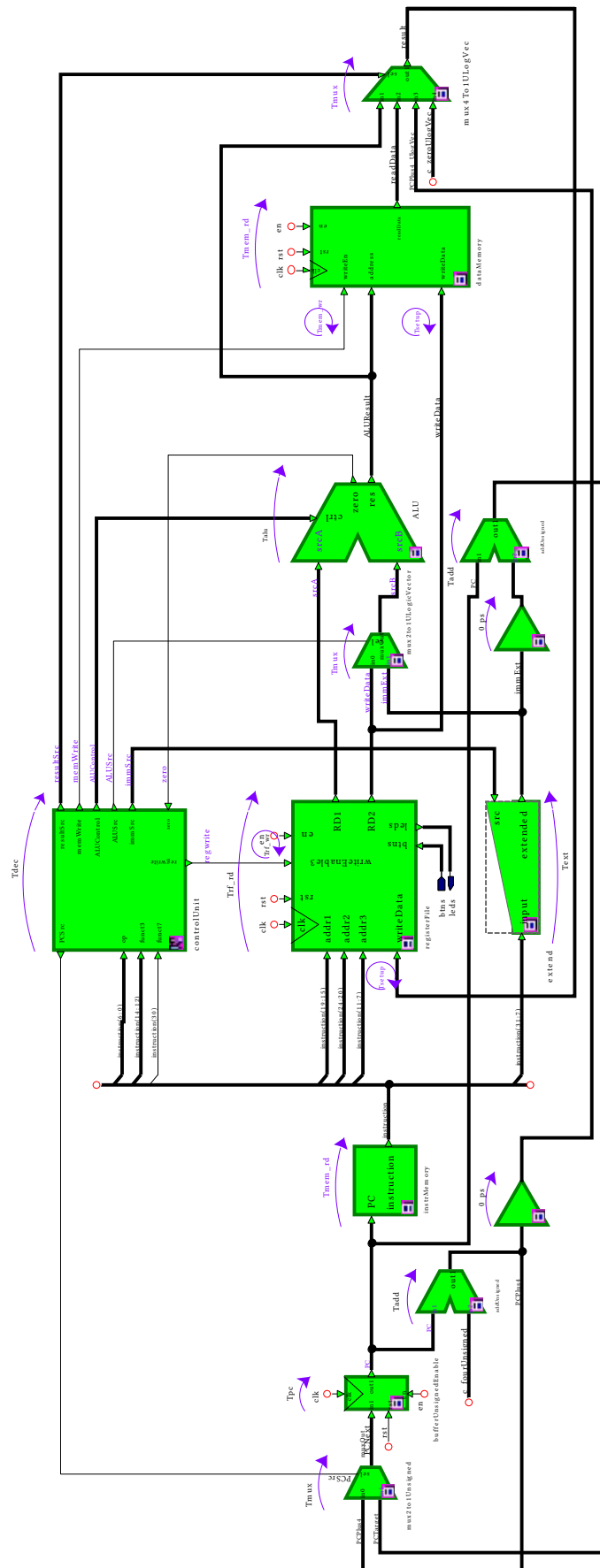
### 2.1 Analyse

Déterminez les diverses fonctionnalités du circuit:

1. Quel est le rôle de chaque bloc ?
2. Identifiez les 5 étapes du pipeline RISC-V et quels blocs y sont liés.
3. A quoi sert chaque signal ? Quelle sont leur tailles ?



Une version agrandie de la Figure 1 est disponible à la page suivante.





## 3 | Control Unit

Une des principale caractéristique différenciant un type de processeur d'un autre est la façon dont sont encodées les instructions, liée à la structure interne. Par exemple, l'opération d'addition d'un nombre avec un registre existe tout autant dans l'architecture **RISC-V** qu'en **x86** ou **ARM**, mais l'opcode généré est tout autre.

Pour l'opération **addi x0 x0 1** en **RISC-V** (**add r0, r0, 1** en **ARM**), le résultat est :

- ARM : 0x 01 00 80 E2
- RISC-V : 0x 00 10 00 13

L'illustration Table 1 montre le bloc de contrôle qui reçoit tous les signaux d'entrée nécessaires pour générer les différents signaux de contrôle. Il est responsable de la configuration du circuit selon l'instruction donnée. Pour simplifier le circuit, **controlUnit** peut encore être divisé en deux sous-blocs **mainDecoder** et **ALUDecoder** :

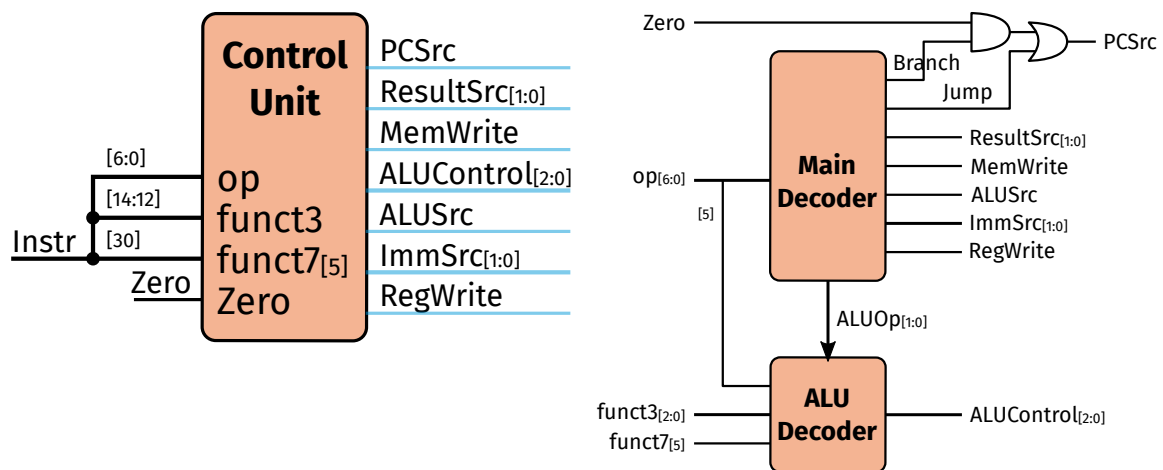


Table 1 - Control Unit

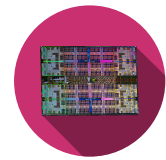
### 3.1 Réalisation

Complétez le bloc **controlUnit** afin de supporter les instructions suivantes :

- R-type : add, sub, slt, or, and
- I-type : addi, slti, ori, andi, lw
- S-type : sw
- B-type : beq
- J-type : jal

Pour cela, écrivez une table de vérité pour les deux sous-blocs **mainDecoder** et **ALUDecoder** en vous référant aux tables Table 2 et Table 3. La table Table 4 vous donne plus d'indications sur le signal **ALUOp** transitant entre les deux blocs.

Les blocs sont réalisés en VHDL directement. Des codes de référence sont disponibles dans les blocs concernés.



### 3.1.1 Extend

Le bloc extend se base sur le type d'instruction donné par **immSrc** pour extraire et étendre le signe de la valeur immédiate:

| immSrc | Type |
|--------|------|
| 00     | I    |
| 01     | S    |
| 10     | B    |
| 11     | J    |

Table 2 - Table de commande du bloc extend

### 3.1.2 ALU

L'ALU réalise les fonctions arithmétiques et logiques suivant le signal **ALUSrc** selon la table suivante :

| ALUControl | Operation              |
|------------|------------------------|
| 000        | <b>add</b>             |
| 001        | <b>subtract</b>        |
| 010        | <b>AND</b>             |
| 011        | <b>OR</b>              |
| 101        | <b>Set Lesser Than</b> |
| Others     | -                      |

Table 3 - Table de commande du bloc ALU

### 3.1.3 ALUOp

Afin d'éviter les doublons,  $op_{[6:0]}$  n'est pas repris dans le bloc **aluDecoder**. A la place, **mainDecoder** génère le signal **ALUOp**, plus petit, qui regroupe plusieurs types d'instructions travaillant de la même manière, selon un code arbitraire. Par exemple, **addi x2, x3, 30** et **add x2, x3, x4** effectuent tous deux une opération d'addition. Les instructions I et R sont donc groupées sous le même code.

La table suivant présente cette idée d'unification et liste les cas spéciaux pour le décodage:

| ALUOP | Funct3 | Op <sub>5</sub> / funct7 <sub>5</sub> | instr     | ALUControl <sub>[2:0]</sub> |
|-------|--------|---------------------------------------|-----------|-----------------------------|
| 00    | ---    | --                                    | LW, SW    | 000 (add)                   |
| 01    | ---    | --                                    | BEQ       | 001 (sub)                   |
| 10    | 000    | 00, 01, 10                            | ADD, ADDI | 000 (add)                   |
| 10    | 000    | 11                                    | SUB       | 001 (sub)                   |
| 10    | 010    | --                                    | SLT, SLTI | 101 (slt)                   |
| 10    | 110    | --                                    | OR, ORI   | 011 (or)                    |
| 10    | 111    | --                                    | AND, ANDI | 010 (and)                   |

Table 4 - Table de décodage du bloc ALUDecoder



## 4 | Simulation

Sous le dossier **Simulation** se trouvent les codes utilisés pour simuler et déployer le système, en trois formats :

- **.s** : code assembleur, en clair
- **.bin** : code compilé; peut être analysé à l'aide d'outils comme [Ghidra](#) ou de désassembleurs en ligne
- **.txt** : version compilée compatible avec la mémoire de la [FPGA](#) pour le déploiement

Le code est compilé à l'aide du programme **HEIRV32-ASM**, disponible avec sa documentation sous le dossier du même nom.

Le testeur **heirv32\_sc\_tb** utilise le code **codesim.bin** lors de la simulation:

```
# Base code :
# riscvtest.s
# Sarah.Harris@unlv.edu
# David_Harris@hmc.edu
# 27 Oct 2020

main:
    addi x2, x0, 5      # x2 = 5
    addi x3, x0, 12     # x3 = 12
    addi x7, x3, -9     # x7 = 12 - 9 = 3
    or    x4, x7, x2     # x4 = (3 or 5) = 7
    and   x5, x3, x4     # x5 = (12 AND 7) = 4
    add   x5, x5, x4     # x5 = 4 + 7 = 11
    beq   x5, x7, end    # shouldn't be taken
    slt   x4, x3, x4     # x4 = (12 < 7) = 0
    beq   x4, x0, around # should be taken
    addi  x5, x0, 0      # shouldn't execute
around:
    slt   x4, x7, x2     # x4 = (3 < 5) = 1
    add   x7, x4, x5     # x7 = (1 + 11) = 12
    sub   x7, x7, x2     # x7 = (12 - 5) = 7
    sw    x7, 84(x3)     # [96] = 7
    lw    x2, 96(x0)     # x2 = [96] = 7
    add   x9, x2, x5     # x9 = (7 + 11) = 18
    jal   x3, end        # jump to end, x3 = 0x44
    addi  x2, x0, 1      # shouldn't execute
end:
    add   x2, x2, x9     # x2 = (7 + 18) = 25
    sw    x2, 0x20(x3)   # [100] = 25
done:
    beq   x2, x2, main   # infinite loop
```



## 4.1 Analyse

Analysez dans un premier temps le code **codesim.s** afin d'en comprendre le contenu. Est-ce un bon candidat pour tester votre système ?

Déterminez le temps nécessaire pour effectuer la boucle du programme une fois, sachant que le système est cadencé à **50 MHz** pour les boards EBS3, et **66 MHz** pour les boards EBS2.



Le simulateur est réglé par défaut sur EBS3. Pour le modifier, ouvrez le bloc **heirv32\_sc\_tb** et faites un clic droit sur le bloc **heirv32\_sc\_tester** → **Change Default View** → **testEBS2**.

Lancez la simulation et confirmez le fonctionnement du système.

Répondez aux questions suivantes:

1. Quelles sont les faiblesses de cette architecture single-cycle ?
2. Déterminez l'instruction la plus longue et retracez son chemin.
3. Quelle est la vitesse de clock maximale envisageable ?



Les temps de chaque sous-parties du système sont donnés dans le top-level.



## 5 | Déploiement (facultatif)

### 5.1 EBS3

Lors du déploiement sur la [FPGA](#), le système sélectionne le code **code\_sc.\*** comme source.

Analysez et comprenez le code en question. Que devrait-il arriver ?

La librairie **Board** contient le top level nécessaire au déploiement. Ouvrez-le et analysez le circuit : comment fonctionnent **en\_step\_n** et **en\_full\_n** ?

Le fichier **Board/concat/car-labs.lpf** contient la définition et emplacements des pins du système. Le branchement de l'électronique se fait selon l'image suivante :

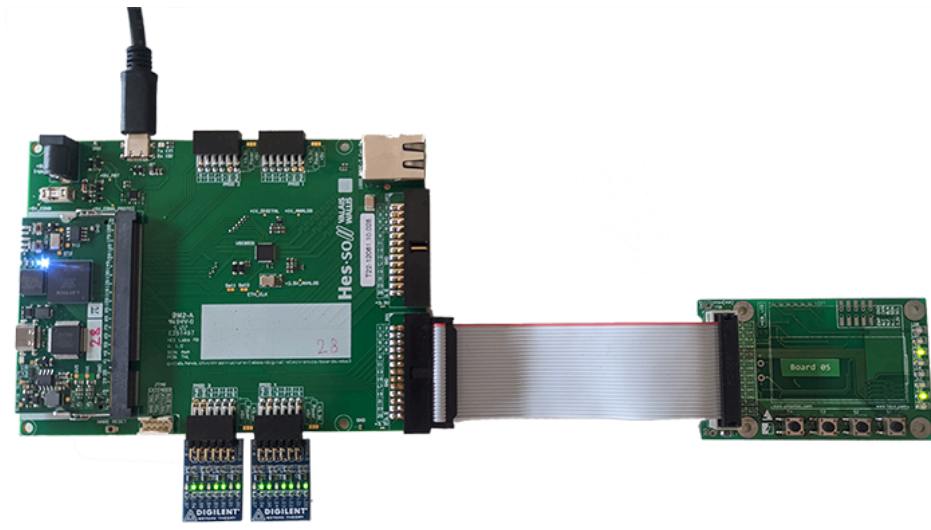


Figure 3 - Branchement du matériel

Déployez et testez le système sur la [FPGA](#).

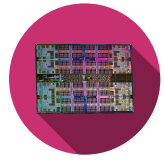


Au démarrage du système, l'entrée **en** de HEIRV32SC est à 0 !



Référez-vous au document **BoardLFE5u-25F.pdf** pour la synthèse et le flash par JTAG de la board.





# Glossaire

*FPGA* – Field-Programmable Gate Array [1](#), [6](#), [8](#)

*RISC-V* – Reduced Instruction Set Computer [1](#), [2](#), [4](#)