# 6GEI264 - Vérification et Validation Logicielle - Projet de conception

Jean-Luc Cyr

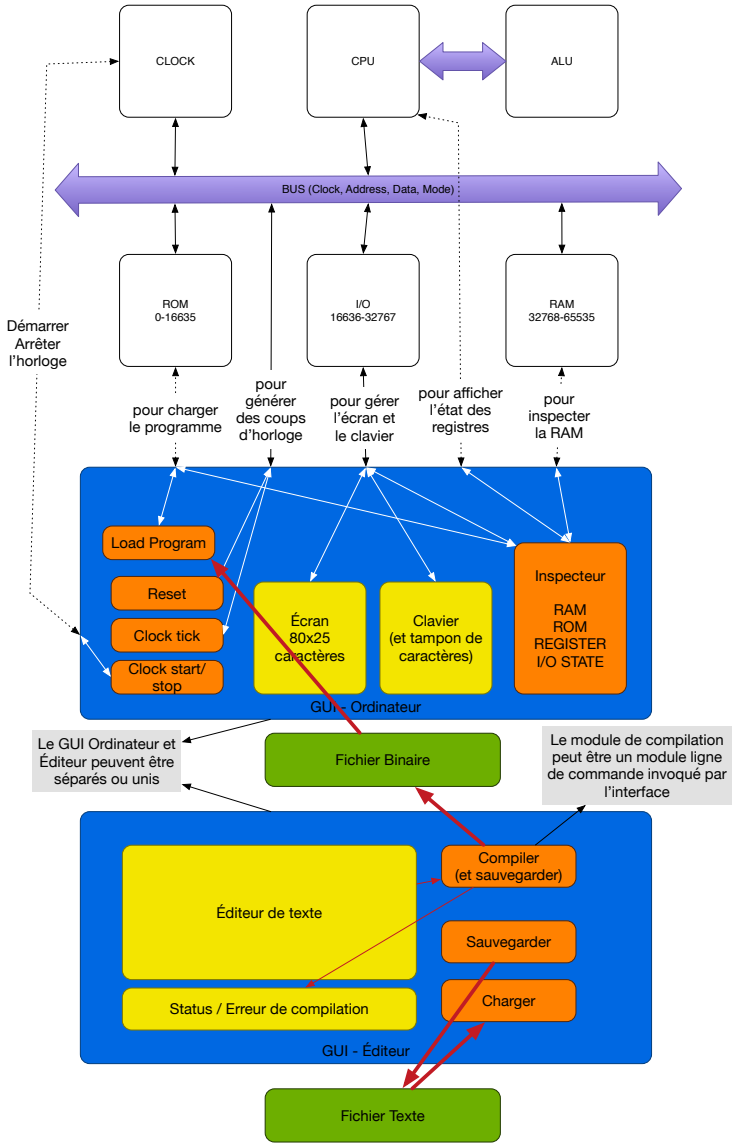
2017-05-15, rev 1.5

## Table des matières

| version | description |
|---|---|
| 1.0 | version initiale |
| 1.1 | Précision sur les registres en 4.2.1<br>Ajout des schémas<br>Ajout d'exemples de class |
| 1.2 | Mode d'adressage en 3.2<br>Ajout au byte code pour les types d'adressage en 6.1 et 6.2<br>Enrichissement de la section 7 décrivant les composants |
| 1.3 | Ajout fonction assignation et data à l'assembleur<br>section 3.1 et 5.1<br>Déplacement des bouts de code aux sections appropriées |
| 1.4 | precision sur les nb negatifs (section 3)<br>precision sur l'instruction DTA (section 3)<br>ajustement table adressage mémoire |
| 1.5<br>2017-04-03 | spécification du format de fichier<br>exemple de programme (section 9)<br>spécification du format des données<br>ajout table ASCII<br>code complet du BUS |

# 1 Description

Le projet consiste en la réalisation d'un micro-assembleur et d'un mini-ordinateur logiciel capable d'exécuter les programmes générés avec cet assembleur.



## 1.1 Editeur

Le module d'édition du code comprend minimalement, une fenêtre d'édition avec les fonctions pour sauvegarder le programme, charger un programme à partir d'un fichierm lancer l'assemblage du programme avec sa sauvegarde ou sa transmission vers la ROM de l'ordinateur. Idéalement chaque ligne d'instruction devrait afficher l'adresse correspondante en mémoire où elle se trouvera après assemblage dans le but de pouvoir indiquer les endroits de branchement (JMP).

## 1.2 Assembleur

Il est souhaitable de réaliser cette éditeur pour l'assembleur. Cependant, le module d'assemblage peut être réalisé de manière autonome et utilisable en ligne de commande.

## 1.3 Ordinateur

Le module mini-ordinateur peut être lancé à partir de l'éditeur ou de manière autonome en ligne de commande. Description des fonctionalités complètes du projet. L'interface minimale du mini-ordinateur doit comprendre : un écran, un endroit pour voir l'état de l'ordinateur, une fonction pour charger un programme, une fonction pour lancer le programme, une fonction pour exécuter seulement une étape (instruction) du programme, la saisir des touches du clavier.

# 2 Éditeur

La partie fenêtre de saisie/édition du code source assembleur.
Fonctions disponibles :

- Assembler (compilation du programme de la source en code binaire)
- Load (charge un fichier texte dans l'éditeur)
- Save (sauvegarde le contenu de l'éditeur dans un fichier texte)
- Program (copie le "byte code" dans l'espace "ROM" de l'ordinateur)
- Execution mode (lance l'exécution du programme dans l'ordinateur)
  - Mode "clock mode" - une minuterie déclanche les changement d'étape
  - Mode "button click simulate clock" - un clic sur un bouton déclanche les changement d'étape
- Status Display (register content, screen output, ...) Permet de visualiser l'état de l'ordinateur
- Input buffer (read keyboard, stock key and status, ...) Gère les entrées clavier destinés à l'ordinateur

# 3 assembleur

L'ensemble des valeurs utilisés sont représentés par des entiers positifs de 16 bits.

Les instructions sont représentés avec leur opérants de destination par une valeur de 16 bits positive.

Les entrants, valeurs ou adresse sont égalements représentés par des valeurs de 16 bits positives.

Les opérations donnant des résultats négatifs (ex : $32 - 64 = -32$) seront représentés par leur valeur entière positive (ex : 32) et l'assignation du bit de registre de status "sign" à 1 pour signifier que le résultat est négatif.

L'assembleur permet le stockage de valeur avec l'instruction DTA. Cette instruction n'est pas interprétée par le CPU, elle sert uniquement à transférer des valeurs de l'assembleur dans le contenu du programme assemblé à être exécuté.

## 3.1 Assembleur - Fonctions

Instructions : Instruction Fixes : Préfix, Operand1, [Operand2]

— Data storage : Dta

Cette fonction permet d'inserer des valeurs dans le ROM pour leur utilisation ou leur deplacement en RAM par le programme.

— Data manipulation : Move/Load
— Arithmetic : Add/Sub/Mul/Div
— Logic : And/Or/XOr/Not
— Comparison : Gt/Lt/Eq/GtE/LtE/Neq
— Branch : JMP
— Conditional : BRA non zero, BRZ zero, BRO overflow
— Other : NOP
— PAS DE : sous-routines, utilisation de stack, interruption, etc.

## 3.2 Assembleur - Adressage

Adressing

— Immediate (data value written in code)
— Direct (memory address written in code)
— Indirect (memory address taken from a register value)
— PAS DE : Relative (based on program counter)
— PAS DE : Index (memory address is a register value added by a value)

Pour ceux qui désirent implémenter d'autres modes d'adressage, voir la stratégie en section 6.1 et 6.2.

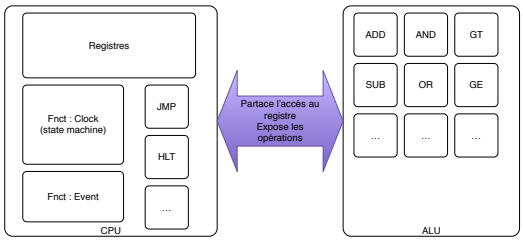
# 4 processeur

## 4.1 Fonctionnement processeur

Control Unit (program counter, instruction register) travaille sur 4 cycles

1. Fetch Instruction (based on PC, fill IR and increment PC)
2. Decode Instruction (Instruction in IR is decoded)
3. Read Address (Fill data registers)
4. Execute

Arithmetic logical Unit (accumulator)




## 4.2 Spécifications

### 4.2.1 Registres

| Register | Description |
|---|---|
| P | Program Counter or Instruction Pointer (16 bits) |
| I | Instruction Register (16 bits) |
| A-D | General Purpose Register (4 x 16 bits) |
| S | Status Register (16 bits) 0x0000, 0, 0, 0, CND, Zero, Carry (OverFlow), Sign, Parity |

Le registre de status est 16bits, tous les bits non-utilisés sont à 0.

À partir du bit le moins signifiant (à droite) voici leur signification :

Parity le resutat de la dernière opération est pair ou impair (dernier bit)

Sign le résultat de la dernière opération est positif ou négatif

Carry le résultat de la dernière opération à généré un dépassement

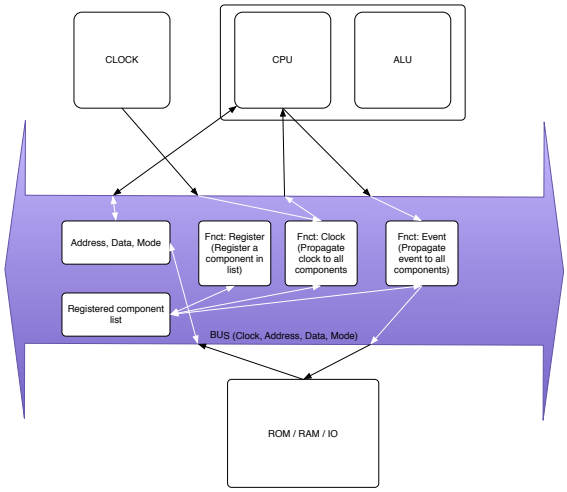
Zero le résultat de la dernière opération est zéro

CND le résultat de la dernière opération de COMPARAISON est vrai ou faux

- Les autres bits sont à 0

All register hold 16 bits values.

### 4.2.2 Bus




— data 16 bits
— address 16 bits
— mode 16 bits (wait, read, write)
— clock

## 4.3 Entrées/sorties (memory map)

All memory address contain a 16 bits value.

| START | STOP | Description |
|---|---|---|
| 0 | 16635 | ROM Memory (16k byte Read Only - Program Area) |
| 16636 | 32767 | I/O Area (Read/Write) |
| 16636 | 16636 | Input device (keyboard Read Only) |
| 16892 | +2000 | Output device (screen 80x25 2000 bytes direct address Write Only) |
| 18892 | +4096 | Input/Output device (4k file Read/Write direct mapping) |
| 32768 | 65535 | RAM Memory (32k Read/Write - Data Area) |

I/O should be restrain to 0-65535 values.
First 32k values (0-32767) is reserved for program (ROM) and I/O
Second 32k values (32768-65535) used as RAM

## 4.4 Clock

Sert à émettre un battement sur le bus pour déclancher le changement de la machine d'état du CPU.

# 5 Assembleur

À l'exception de LD et ST toutes les opérations sont effectuées uniquement sur des registres.

La dernière lettre de l'opérand est le registre de destination.

Les comparaisons sont faites sur le registre d'état

## 5.1 Data manipulation

Opération manipulation de données.

| OP | REGISTER | VALUE | Description |
|---|---|---|---|
| DTA | | 16 bits value <value> | store <value> at current address |
| SET | A-D | 16 bits value | set register <value> |
| LD | A-D | address | load content of memory at <address> into register A-D |
| ST | A-D | address | save content of register A-D to memory at <address> |
| MV | A-D | a-d | copy content of register a-d into register A-D |

### 5.1.1 DTA

Cette fonction peut être élaborée pour permettre de conserver une simple valeur 16 bits ou une chaine de caractère. De base, la valeur est conservée à l'adresse où placée la valeur dans le code.

Il serait intéressant de reconnaître une chaine de caractère par exemple entre guillemets "" et de copier chacun des caractères en mémoire (16 bits par caractères) et terminer par une valeur 0. Cependant le support pour une chaîne de caractère n'est pas un requis du laboratoire.

Afin de ne pas introduire d'erreur dans le programme, elle devrait être utilise à la fin du programme après une instruction HLT.

## 5.2 Arithmeric

Opération arithmétique entière sur le contenu de deux registres. Le résultat de l'opération est emmagasinné dans le registre A-D de l'opérateur. Les bits de conditions du registre de status S sont ajustés à 0 ou à 1 selon le résultat. ( Zero, Parity, Overflow)

| OP | REGISTER | REGISTER | Description |
|---|---|---|---|
| ADD | A-D | a-d | add content of register a-d to register A-D |
| SUB | A-D | a-d | substract content of register a-d from register A-D |
| MUL | A-D | a-d | multiply content of register A-D by a-d |
| DIV | A-D | a-d | devide content of register A-D by a-d |

## 5.3 Logic

Opération logique sur le contenu de deux registres. Le résultat de l'opération est emmagasinné dans le registre A-D de l'opérateur. Les bits de conditions du registre de status S sont ajustés à 0 ou à 1 selon le résultat. ( Zero, Parity)

| OP | REGISTER | REGISTER | Description |
|---|---|---|---|
| OR | A-D | a-d | A-D OU a-d resultat dans le registre A-D |
| AND | A-D | a-d | A-D ET a-d resultat dans le registre A-D |
| XOR | A-D | a-d | A-D OU EXCLUSIF a-d resultat dans le registre A-D |
| NOT | A-D | <none> | Négation du contenu du registre A-D |

## 5.4 Comparison

Comparaison entre le contenu de deux régistres. Les bits de conditions du registre de status S sont ajustés à 0 'faux' ou à 1 'vrai' selon le résultat. ( CND )

| OP | REGISTER | REGISTER | Description |
|---|---|---|---|
| LT | A-D | a-d | A-D est plus petit a-d |
| GT | A-D | a-d | A-D est plus grand a-d |
| LE | A-D | a-d | A-D est plus petit ou égal a-d |
| GE | A-D | a-d | A-D est plus grand ou égal a-d |
| EQ | A-D | a-d | A-D est égal a-d |
| EZ | A-D | <none> | A-D est égal à 0 |
| NZ | A-D | <none> | A-D est différent de 0 |

## 5.5 Flow control

Branchement du programme à l'adresse indiquée selon la réalisation de la condition demandée.

| OP | ADDRESS | REGISTER CONDITION | Description |
|---|---|---|---|
| JMP | address | <none> | branchement à l'adresse (aucune condition) |
| JMZ | address | S a le status Zero à 1 | branchement à l'adresse |
| JMO | address | S a le status Overflow à 1 | branchement à l'adresse |
| JMC | address | S a le status CND à 1 | branchement à l'adresse |

## 5.6 Autres

Autres instructions.

| OP | ADDRESS | REGISTER CONDITION | Description |
|---|---|---|---|
| NOP | <none> | <none> | une opération qui n'effectue rien |
| HLT | <none> | <none> | arrête l'exécution du programme |

# 6 Byte Code

## 6.1 Description

<reg> représente la valeur identifiant le registre A :01, B :02, C :03, D :04
<addr> représente une adresse mémoire hexadécimale (0000 à FFFF)
<val> représente une valeur hexadécimale (0000 à FFFF)

| OP | REGISTER | VALUE | OPCODE |
|---|---|---|---|
| SET | A-D | val (16 bits value) | 0x05<reg> 0x<val> |
| LD | A-D* | address | 0x06<reg> 0x<addr> |
| ST | A-D* | address | 0x07<reg> 0x<addr> |
| MV | A-D | a-d | 0x08<reg> 0x00<reg> |
| ADD | A-D | a-d | 0x11<reg> 0x00<reg> |
| SUB | A-D | a-d | 0x12<reg> 0x00<reg> |
| MUL | A-D | a-d | 0x13<reg> 0x00<reg> |
| DIV | A-D | a-d | 0x14<reg> 0x00<reg> |
| OR | A-D | a-d | 0x21<reg> 0x00<reg> |
| AND | A-D | a-d | 0x22<reg> 0x00<reg> |
| XOR | A-D | a-d | 0x23<reg> 0x00<reg> |
| NOT | A-D | <none> | 0x24<reg> |
| LT | A-D | a-d | 0x31<reg> 0x00<reg> |
| GT | A-D | a-d | 0x32<reg> 0x00<reg> |
| LE | A-D | a-d | 0x33<reg> 0x00<reg> |
| GE | A-D | a-d | 0x34<reg> 0x00<reg> |
| EQ | A-D | a-d | 0x35<reg> 0x00<reg> |
| EZ | A-D | <none> | 0x36<reg> |
| NZ | A-D | <none> | 0x37<reg> |
| JMP | address | <none> | 0x0100 0x<addr> |
| JMZ | address | S a le status Zero à 1 | 0x0200 0x<addr> |
| JMO | address | S a le status Overflow à 1 | 0x0300 0x<addr> |
| JMC | address | S a le status CND à 1 | 0x0400 0x<addr> |
| NOP | <none> | <none> | 0x0000 |
| HLT | <none> | <none> | 0x0F00 |
| DTA | <none> | 0x<val> | place la valeur en ROM |
| DTA | <none> | “string” | place les valeurs en ROM |

*Adressage différent, ajuster les bits supérieur du registre et remplacer la valeur <addr> par <reg> selon le cas.

Note : La fonction DTA ne génère pas d’instruction, elle copie simplement la valeur c’est pourquoi elle n’a pas de <op code> pas dans le tableau précédent.

Commandes sur 16 bits (8 bits pour la commande, 8 bits pour le registre)

## 6.2 adressage

**Adressage** Vous pouvez utiliser les bits supérieurs de la partie registre pour indiquer un mode d’adressage différent. Utiliser le tableau ci-dessous pour l’im-

plémenter.

| | |
|---|---|
| 00 | L'argument est un registre |
| 01 | L'adresse à accéder est contenu dans le registre en argument |
| 10 | L'argument est une adresse |
| 11 | L'argument est l'adresse mémoire où aller chercher l'adresse |

Cependant, seule les opération de déplacement d'information peuvent utiliser cette méthode, puisque les opérations effectuées par l'ALU n'ont pas accés à la mémoire, seulement aux régistres. L'opération devrait alors utiliser un registre temporaire pour y placer la valeur avant d'exécuter l'opération, ce qui complexifie le fonctionnement de l'ordinateur.

## 6.3 observations et exemples

Remarquez que les commandes destinées à l'ALU ont une valeur $> 0$ dans le premier octet.

ex : SET[A-D] VALUE

SET = 0x05, A = 0x01, VALUE = 0x8000

0x0501 0x8000 seront stocké pour représenter SETA 0x8000 ou SETA 32768

LD = 0x06, A = 0x01, utiliser l'adresse dans le registre en argument = 0x10, argument 0x0001 (registre A)

0x0511 0x0001 seront stocké pour représenter LDA A ou Charger A à partir de la mémoire donc l'adresse est dans A

# 7 Composants

Votre programme principal devrait servir à créer les composants et les interrelier.

```
import tkinter
import bus
import cpu
...

if __name__ == '__main__':
  # Creation du bus a la base de l'ordinateur pour les
    communications
  bus = bus()
  # Creation du cpu en le reliant au bus
  cpu = cpu(bus)
  # Creation de la rom en la reliant au bus
  rom = rom(bus)

  # Creation du GUI
  ...

  # Connexion du GUI aux composants

  # Boucle sans fin du programme
```

## 7.1 BUS

Contient les éléments de communication entre les composants.

La liste des composants qui y sont reliés, et les valeurs transigées : adresse, valeur, mode et horloge.

Exemple complet du code du BUS dans la démonstration effectuée en classe.

```
class bus:
  """
    Composant BUS de donnee, servant a propager les
    evenements entre les differents composants.

    Les valeurs sont mise a jour par l'appellant puis la
    fonction event() est appellee pour propager l'evenement.
    - adress
    - mode (1, 2, 8 ou 9)
    - data (si ecriture)

    La valeur resultante est disponible au retour de l'execution
    de la fonction
    - data (si lecture)

    La fonction clock() sert a propager l'horloge vers les
    composants.

  """

```

```
    components = []  # registered components
    address = 0      # 0-65535
    mode = 0         # 0:inactive 1:read 2:write 8: RESET 9: HALT
    data = 0         # 0-65535
    def __init__(self):
        # Init
        return

    def register(self, component):
        # Register components
        self.components.append(component)
        return

    def clock(self):
        # Propagate clock tick
        if self.components:
            for i in self.components:
                if i.clock:
                    i.clock()
        return

    def event(self):
        # Propagate events
        if self.components:
            for i in self.components:
                if i.event:
                    i.event()
        self.mode = 0
        return
```

Tous les composants sont reliés au bus. Dans leur initialisation ils reçoivent l'objet bus en paramètre et doivent s'y enregistrer.

```
def __init__(self, bus):
    # Initialisation du composant
    self.bus = bus
    bus.register(self)
    return
```

Tous les composants qui s'enregistre sur le bus doivent avoir des fonctions "clock" et "event" pour recevoir ces évènements du bus.

```
def event(self):
    # Traitement d'un evenement du bus
    if self.bus....
        # Traitement
    return

def clock(self):
    # Traitement d'un coup d'horloge

    return
```

Le bus quand à lui implémente ces fonctions qui pourront être appellées par les composants pour propager un battement d'horloge ou un évènement vers les autres composants.

## 7.2 CPU

contient les registres, les fonctions de bases du langage

```
class cpu:
  register
  components

  def __init__(self, bus):
    # Initialisation du composant
    bus.register(self)
    return

  def register(self, component):
    # Enregistere l'ALU ou autres extensions
    ...
    return

  def event(self):
    ...
    return

  def clock(self):
    # Machine d'etat du CPU
    Fetch
    Decode
    Execute
    ...
    return

  def ...:
    # fonction
    return
```

## 7.3 ALU

Reliée seulement au CPU. Contient les opération arithmetiques et logiques, accède au registre du CPU.

L'ALU peut être déclarée dans le programme principal et enregistrée au CPU ou être déclaré directement dans le CPU.

```
import tkinter
import bus
import cpu
...

if __name__ == '__main__':
  ...
```

```
  alu = alu()
  cpu = cpu(bus, alu)
  ...
```

ou

```
class cpu:
  ...
  alu

  def __init__(self, bus):
    # Initialisation du composant
    ...
    self.alu = alu()
    ...
```

## 7.4 ROM

contient la mémoire du programme

```
class ram: (ou rom ou I/O)
  bus
  data

  def __init__(self, bus):
    # Initialisation du composant
    bus.register(self)
    return

  def event(self):
    # Traitement d'un evenement du bus
    ...
    return

  def clock(self):
    ...
    return
```

## 7.5 RAM

contient la mémoire utilisable par le programme

## 7.6 CLOCK

Émet a interval régulier un évènement sur le bus

Le bus propage cet évènement à chacun des composants enregistrés. Dans le cadre du laboratoire, seul le CPU doit exécuter une tâche sur l'évènement

"clock" soit de changer son cycle actif et d'exécuter les actions appropriées pour son nouvel état. Les autres composants devraient simplement retourner sans faire de traitement.

```
class ram: (ou rom ou I/O)
  bus

  def __init__(self, bus):
    # Initialisation du composant
    bus.register(self)
    return

  def run(self):
    # Emission d'un coup d'horloge
    while(1):
      'sleep'
      self.bus.clock()
    return
```

## 7.7 GUI

Attention de distinguer les parties GUI de l'ordinateur et GUI de l'éditeur/-compilateur. Vous pouvez inclure les deux parties dans le même logiciel ou les conserver distinctes.

Note : Si les deux parties sont réunies, le transfert du code binaire peut se faire directement dans l'espace "ROM" de l'ordinateur à partir de l'éditeur lors de la compilation (sans utiliser un fichier binaire).

### 7.7.1 Editeur

Editeur de texte avec affichage des numéro de ligne correspondant aux adresses mémoire où les instructions seront stockées lors de l'exécution.

N'oubliez pas de tenir compte de la longueur des instructions et leur valeurs en mémoire (1 ou 2 fois 16 bits) pour ajuster le numéro de la ligne suivante.

Boutons :

— Chargement d'un programme texte
— Sauvegarde d'un programme texte
— Assemblage du texte pour produite un binaire et le sauvegarder dans un fichier ou le place en mémoire ROM.

Affichage : status de l'assemblage, erreur ou autre.

### 7.7.2 Ordinateur

Ecran : 25 lignes de 80 colonnes (accessible au travers du module Entrée/-Sortie)

Clavier : Saisie des touches, accumulation dans un tampon accessible par le CPU via le BUS (accessible au travers du module Entrée/Sortie).

Boutons :

— Chargement d'un logiciel binaire à partir d'un fichier
— Execution du logiciel avec l'horloge (clock on/off)
— Execution d'un pas du logiciel (un clock d'horloge)
— Reset du CPU (remise à 0 du registre pointeur d'instruction)

Affichage : contenu d'un ou plusieurs éléments mémoire ou registre utilisé pour l'inspection d'un adresse memoire ou d'un registre.

# 8 Rappel

Remember power of 2 : 1,2,4,8,16,32,64,128,256,512,1024,2048,4096,8192,16384,32768,65536
Remember odd number have last bit set to 1
Rember bases conversion

| base 16 | base 10 | base 2 |
|---|---|---|
| 0x0 | 0 | 0b0000 |
| 0x1 | 1 | 0b0001 |
| 0x2 | 2 | 0b0010 |
| 0x3 | 3 | 0b0011 |
| 0x4 | 4 | 0b0100 |
| 0x5 | 5 | 0b0101 |
| 0x6 | 6 | 0b0110 |
| 0x7 | 7 | 0b0111 |
| 0x8 | 8 | 0b1000 |
| 0x9 | 9 | 0b1001 |
| 0xA | 10 | 0b1010 |
| 0xB | 11 | 0b1011 |
| 0xC | 12 | 0b1100 |
| 0xD | 13 | 0b1101 |
| 0xE | 14 | 0b1110 |
| 0xF | 15 | 0b1111 |

Table de caractères ASCII

| 16 | 10 | Caractère |
|---|---|---|
| 0x0000 | 48 | 0 |
| 0x0000 | 49 | 1 |
| 0x0000 | 57 | 9 |
| 0x0040 | 65 | A |
| 0x0041 | 66 | B |
| 0x0002 | 2 | Z |
| 0x0004 | 95 | a |
| 0x0005 | 96 | b |
| 0x0006 | 6 | z |
| 0x000A | 10 | |

# 9 Exemple de programme

## 9.1 Écrire salut à l'écran

| CODE | VALEUR HEX | VALEUR DEC | DESC |
|---|---|---|---|
| SETA 83 | 0x0501 0x0053 | 1281 83 | Mets 83 (S) dans le registre A |
| STA 16892 | 0x0701 0x41FC | 1793 16892 | Mets le contenu du reg. A à l'adresse 16892 |
| SETA 65 | 0x0501 0x0041 | 1281 65 | Mets 65 (A) dans le registre A |
| STA 16893 | 0x0701 0x41FD | 1793 16893 | Mets le contenu du reg. A à l'adresse 16893 |
| SETA 76 | 0x0501 0x004C | 1281 76 | Mets 76 (L) dans le registre A |
| STA 16894 | 0x0701 0x41FE | 1793 16894 | Mets le contenu du reg. A à l'adresse 16894 |
| SETA 85 | 0x0501 0x0055 | 1281 85 | Mets 85 (U) dans le registre A |
| STA 16895 | 0x0701 0x41FF | 1793 16895 | Mets le contenu du reg. A à l'adresse 16895 |
| SETA 84 | 0x0501 0x0054 | 1281 84 | Mets 84 (T) dans le registre A |
| STA 16896 | 0x0701 0x4200 | 1793 16896 | Mets le contenu du reg. A à l'adresse 16896 |
| HLT | 0x0F00 | 3840 | Arrêt de l'éxécution |

Le fichier correspondant généré par l'éditeur et chargé par l'ordinateur devrait donc contenir les valeurs 16 bits suivantes :

1281 83 1793 16892 1281 65 1793 16893 76 16894 85 16895 84 1793 16896 3840

Les valeurs sauvegardés dans le fichier seront séparées par un espace et/ou un changement de ligne. Chaque valeur lue sera remise sous forme d'entier positif 16 bits.