# Rappels de COO/POO : Conception et implémentation d'un émulateur de machine à pile

Sébastien Jean

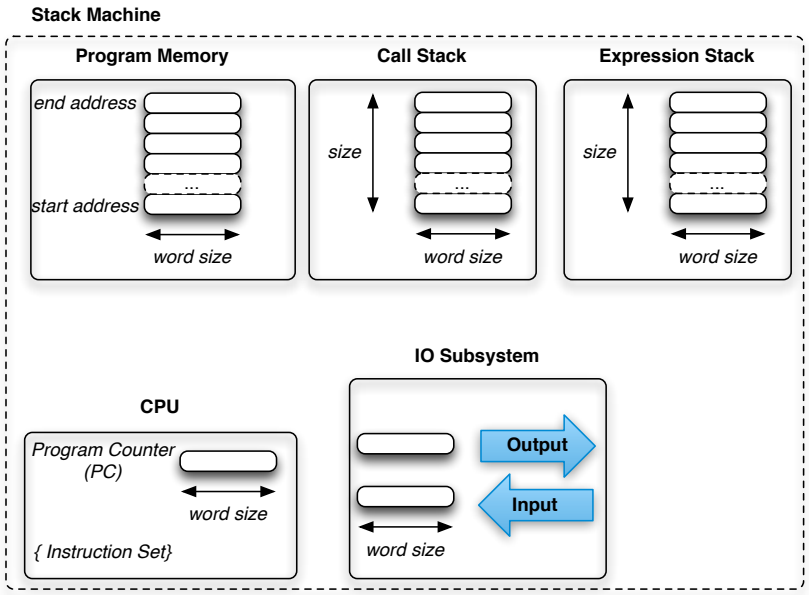
*L'objectif de ce TP est de consolider les bases de COO et POO abordées dans les modules M2103 et M2104, en se ré-appropriant les outils de modélisation, de programmation et de gestion de version. Le sujet est inspiré d'un exercice original de Christophe Deleuze*[1]*, avec son aimable courtoisie .*

## Contexte

On s'intéresse dans la suite à concevoir et réaliser un émulateur de machine à pile[2]. Ces machines restent conformes à l'architecture Von Neumann[3], dans la mesure où les programmes et données sont stockées dans une mémoire à laquelle accède le processeur qui connait à chaque instant l'adresse de la prochaine instruction à exécuter (l'ensemble des instructions supportées par le processeur est appelé *jeu d'instructions*). La particularité des machines à pile réside dans l'existence d'un espace mémoire séparé pour les données et structuré sous forme de pile (dite d'expression ou *expression-stack*), dans laquelle les instructions supportées par le processeur vont puiser leurs arguments et déposer leurs résultats. Dans la plupart des cas où les machines supportent l'exécution de sous-routines (que l'on peut assimiler à des appels de fonctions), un autre pile (dite d'appel ou *call-stack*) permet de mémoriser les adresses de retour.

### Architecture de la machine à pile

L'architecture générale de la machine à pile à émuler est présentée ci-dessous :




La **mémoire de programme** (*Program Memory*) utilisée pour le stockage des programmes (cf. plus loin la description d'un programme). C'est une mémoire de taille fixe et à accès aléatoire, organisée sous la forme d'une suite de cellules mémoire contenant chacune un mot de taille fixe (*word size*) égale à 32 bits et possédant une adresse unique sur 32 bits (dans $[startaddress, endaddress]$).

1. cf. http ://christophe.deleuze.free.fr/esisar05/CS410/mp.pdf
2. cf. https ://en.wikipedia.org/wiki/Stack_machine
3. cf. https ://en.wikipedia.org/wiki/Von_Neumann_architecture

La **pile d'expression** (*Expression Stack*) est utilisée pour le stockage temporaire des données. C'est une mémoire de taille fixe et à accès LIFO (*Last In First Out*), organisée sous la forme d'une suite de cellules mémoire contenant chacune un mot de taille fixe (*word size*) égale à 32 bits.

La **pile d'appel** (*Call Stack*) est utilisée pour le stockage temporaire des adresses de retour lors de l'appel aux sous-routines, possédant les même caractéristiques que la pile d'expression.

Le **processeur** (*CPU*) est caractérisé par un jeu d'instruction (*Instruction Set*) et possède un registre interne nommé PC (*Program Counter*) qui lui permet de maintenir l'adresse de la prochaine instruction à exécuter. A chaque cycle, le processeur :

— lit l'instruction située dans la mémoire de programme à l'adresse contenue dans le registre PC,
— décode cette instruction (cf. plus loin la description du jeu d'instructions)
— lit éventuellement les paramètres de l'instruction se trouvant aux adresses suivantes,
— exécute l'instruction, en allant chercher les opérandes et/ou empiler le résultat dans la pile d'expression et/ou en allant empiler ou dépiler une adresse de retour dans la pile d'appel
— met à jour le contenu du registre PC (adresse de l'instruction à exécuter au cycle suivant)

Le `sous-système d'entrées-sorties` (*IO Subsystem*) permet d'échanger des données avec l'extérieur (ce qui se résumera ici à lire ou écrire une valeur (de taille *word size*) depuis ou vers la console

L'ensemble des instructions supportées par le processeur est listé dans le tableau fourni en annexe. Les codes des mnémoniques sont des entiers sur 32 bits, les valeurs des éventuels paramètres sont également sur 32 bits.

Un programme exemple est donné également en annexe. Ce programme lit un nombre, calcule la factorielle de ce nombre et l'affiche.

# Travail à réaliser

Dupliquer sur un compte GitHub (et non cloner) le dépôt dont l'URL est communiqué par l'intervenant. Dans ce dépôt se trouve un projet *Eclipse* contenant un squelette incomplet du code de l'émulateur de machine ainsi qu'une application permettant le lancement du programme de calcul de factorielle.

## Terminaison de l'Implémentation de base de l'émulateur

En travaillant sur le code fourni :

— Produire le diagramme de classes complet de l'émulateur à l'aide de l'outil *Visual Paradigm* (ou *BoUML*)
— Compléter le code afin de pouvoir calculer 7 !

Le diagramme de classes devra être placé dans un sous-répertoire `VP` du dépôt. Il est préférable d'avancer en parallèle sur le code et le diagramme (i.e. commencer par une rétro-conception sur la base du code fourni, puis mettre à jour le diagramme tout en complétant l'implémentation). Une fois le diagramme de classes achevé, le code pourra être généré pour comparaison (dans un sous-répertoire `VP_src` du dépôt).

## Amélioration de l'implémentation, élévation du niveau d'abstraction

Une fois l'étape précédente réalisée, reprendre la conception et l'implémentation, en montant d'un niveau d'abstraction pour augmenter la réutilisabilté.

Considérer tout d'abord qu'il est préférable d'exprimer les relations entre `Machine` (d'une part) et `CPU`/`Memory`/`Stack`/`IO` (d'autre part) sous la forme d'une composition. Essayer ensuite d'abstraire au maximum la notion de processeur, de pile, de mémoire, de sous-système d'entrée-sortie, en conservant le même niveau de fonctionnalité (i.e. l'application fournie devra produire le même résultat) mais en conservant la possibilité d'utiliser des mémoires ou des piles stockant des mots de 8, 16 bits ou 32 bits, d'utiliser un sous-système d'entrée-sortie effectuant des redirections depuis et vers des fichiers, ...

# Annexe 1 : le jeu d'instructions du processeur

| Mnemonic | Code Op. | Param | Effect |
|---|---|---|---|
| HALT | 0x0 | - | Terminate program |
| PUSH | 0x1 | *value* | Push a value on top of expression stack |
| ADD | 0x2 | - | Pop two values from expression stack,<br>add the 1st to the 2nd, push the result on expression stack |
| SUB | 0x3 | - | Pop two values from expression stack, substract the 1st to the 2nd, push the result on expression stack |
| MUL | 0x4 | - | Pop two values from expression stack, multiply the 1st by the 2nd, push the result on expression stack |
| DIV | 0x5 | - | Pop two values from expression stack, divide the 2nd by the first, push the result on expression stack |
| MOD | 0x6 | - | Pop two values from expression stack, compute the modulus of euclidian division of the 2nd by the 1st, push the result on expression stack |
| NEG | 0x7 | - | Pop a value from expression stack, push the opposite on expression stack |
| LT | 0x8 | - | Pop two values from expression stack, push 0 on expression stack if the 2nd is lower than the first or 1 if not |
| LE | 0x9 | - | Pop two values from expression stack, push 0 on expression stack if the 2nd is lower than or equal to the first or 1 if not |
| GT | 0xA | - | Pop two values from expression stack, push 0 on expression stack if the 2nd is greater than the first or 1 if not |
| GE | 0xB | - | Pop two values from expression stack, push 0 on expression stack if the 2nd is greater than or equal to the first or 1 if not |
| EQ | 0xC | - | Pop two values from expression stack, push 0 on expression stack if both are equal or 1 if not |
| NE | 0xD | - | Pop two values from expression stack, push 0 on expression stack if both are different or 1 if not |
| IN | 0xE | - | Read a value from IO, push this value on expression stack |
| OUT | 0xF | - | Pop a value from expression stack, write this value to IO |
| CALL | 0x10 | *address* | Push next PC on call stack, set PC with address given as parameter |
| RET | 0x11 | - | Pop an address from call stack, set PC with this address |
| JP | 0x12 | *address* | Set PC with address given as parameter |
| JZ | 0x13 | *address* | Pop a value from expression stack, set PC with address given as parameter only if this value is 0 |
| DUP | 0x14 | - | Duplicate the value on top of expression stack (i.e. pop a value and push it twice) |
| POP | 0x15 | - | Pop a value from expression stack, and forget it |

## Annexe 2 : programme de calcul de la factorielle d'un nombre

N.B : La première colonne représente l'adresse du code opération de l'instruction.

```
0x0 :  in         // read a number n from IO
0x1 :  call 0x5   // call the subroutine that computes n!
0x3 :  out        // print n!
0x4 :  halt       // stop the program
0x5 :  dup
0x6 :  jz 0xb     // if n = 0, computing n! is trivial
0x8 :  call 0xf   // else n! = n * (n-1)!
0xa :  ret
0xb :  pop        // when  n = 0  n! = 1 ...
0xc :  push 0x1   // ... so n is replaced by n!
0xe :  ret
0xf :  dup        // ...
0x10:  push 0x1   // ...
0x12:  sub        // compute n-1
0x13:  call 0x5   // call the subroutine that computes (n-1)!
0x15:  mul        // compute n! = n*(n-1)!
0x16:  ret
```