

Rapport

Projet de compilation avancée

Développement d'un interpréteur pour le langage UM de la machine universelle

Développement d'un compilateur du langage S-UM vers le langage UM

Amel ARKOUB 3301571

Ling-Chun SO 3414546

04 avril 2018

Sommaire

0	Introduction	2
0.1	Présentation	2
0.2	Description des fichiers	2
0.3	Etat du projet	2
1	Machine Universelle	4
1.1	Structure	4
1.2	Fonctions	4
1.3	Interprétation du langage	5
1.4	Performance	5
1.5	Implantation de la machine universelle par liste	5
2	Compilateur S-UM	7
2.1	Choix d'outils	7
2.2	Grammaire	7
2.3	Arbre syntaxique abstrait	8
2.4	Compilation vers le langage S-UM	9
2.4.1	Design Pattern Visitor	9
2.4.2	Description générale de la compilation (Class Compiler)	10
2.4.3	Stockage des calculs	10
2.4.4	Traduction en instruction UM	10
2.4.5	Egalité	11
2.4.6	Relation d'ordre: $>$ et $<$	11

0

Introduction

0.1 Présentation

Le but de ce projet est de fournir dans un premier temps, une implantation de la machine universelle (www.boundvariable.org/um-spec.txt) issue d'un concours de programmation, *ACM International Conference on Functional Programming* (ICFP) de 2006 (www.boundvariable.org/task.shtml). Nous souhaiterions aussi pouvoir programmer dans le langage compris par la machine universelle, cependant celui-ci est un langage binaire, ce qui n'est pas chose aisée. Ainsi dans un second temps nous allons écrire un compilateur qui compile le langage S-UM *Specification of Universal Machine* vers le langage binaire UM.

0.2 Description des fichiers

Voici les différents dossiers et ce qu'ils contiennent:

- `./um/` → Ce dossier contient l'implantation de la machine universelle.
- `./sum/` → Ce dossier contient l'implantation du compilateur S-UM.
- `./tests/` → Ce dossier contient les différents tests du compilateur S-UM.
- `./rapport.pdf` → Ce fichier correspond à ce rapport.
- `./README.md` → Ce fichier contient les instructions pour compiler et tester le projet.
- `./rapport/` → Ce dossier contient les sources de ce rapport en LaTeX.
- `./archives/` → Ce dossier contient essentiellement des fichiers à ne pas considérer, plus spécifiquement, se trouve un début d'analyseur/parseur en C pour le langage S-UM mais aussi une implantation de la machine universelle à partir de liste cependant pour des raisons de performance elle a été délaissée pour une implantation plus performante.

0.3 Etat du projet

Le projet dans l'ensemble terminé cependant certains points sont à préciser:

- la machine universelle (UM): **Fonctionnel**
- le compilateur S-UM: **Fonctionnel**

Tous les traits du langage sont supportés cependant il est important de préciser:

- séquence d'instructions: Fonctionnel
- affectation de variable: Fonctionnel
- print: Améliorable
En effet, le print fonctionne pour les chaînes de caractères et ainsi que les constantes, cependant elle n'affiche que l'évaluation modulo 256. Par exemple, *print 96+1* affichera en sortie "a", 97 étant la lettre "a" en ASCII.
- scan: Améliorable
Le scan ne prend qu'un caractère ASCII.
- alternative: Fonctionnel
- entier: Fonctionnel
- chaîne de caractère: Fonctionnel
- expression arithmétique: Fonctionnel
- expression relationnelles: Fonctionnel
- expression logiques binaires: Fonctionnel
- expression logiques unaires: Fonctionnel

1

Machine Universelle

1.1 Structure

Au niveau de l'implantation de la machine universelle, étant donné que chaque *platter* est codé sur 32 bits, nous utilisons un entier non signé 32 bits:

```
typedef uint32_t uint32;
```

Nous avons choisit comme structure pour contenir les instructions du programme celle-ci:

```
typedef struct array{
    uint32 size;
    uint32 *platter;
} array;
```

C'est une structure permettant de contenir un tableau d'instructions et la taille en mémoire (la taille est nécessaire lors de l'instruction LOAD PROGRAM).

Afin de pouvoir garder en mémoire tout les indices réutilisable nous avons une structure de liste pour les indices, dans le cas où la liste est vide on retourne une variable globale et on l'incrémente.

```
extern uint32 indexcpt;
typedef struct freeindex{
    uint32 index;
    struct freeindex *next;
} freeindex;
```

1.2 Fonctions

Voici la description des fonctions de la machine universelle:

- `array* loadFile(const char* filename)` → Renvoie un tableau contenant toutes les instructions lues dans le fichier *filename* en binaire, il faut ensuite inversé l'endianess (le lancement de la machine virtuelle avec le fichier *ressources/sandmarkz.umz* indique si l'endianess est incorrect par l'affichage sur le shell *endianess*).
- `freeindex* initFreeIndex()` → Initialise la file d'indice utilisable.
- `void addFreeIndex(freeindex** fi, uint32 index)` → Ajoute dans la file d'indice fi, l'indice index.

- `uint32 getFreeIndex(freeindex** fi) →` Récupère un indice utilisable, si la file est libre on retourne `indexcpt++`.
- `void freeFreeIndex(freeindex** fi) →` Désalloue la structure de file.
- `array* initArray(uint32 size) →` Alloue la structure array de taille `size`.
- `void freeArray(array *arr) →` Désalloue la structure array.

1.3 Interprétation du langage

Le canevas de l'interprétation du langage est le suivant:

```
uint32 registers[8] = {0};
while(1){
    word = zero[pt];
    op = word>>28;
    a = ((word>>6) & 0x7);
    b = ((word>>3) & 0x7);
    c = (word & 0x7);
    switch(op){
        case ...:
        case ...:
        ...
    }
    pt++;
}
```

On initialise un tableau de 8 entiers non signés qui correspondent aux registres. Le coeur de l'interprétation correspond à un switch englobé dans un `while(1)` et nous récupérons l'opération, l'indice des registres par des décalage de bit de l'instruction 32 bits puis on incrémente le compteur `pt`.

1.4 Performance

Les performances d'un interpréteur n'est pas à négliger, du fait de notre implantation C par tableau compilé en `-O3` nous avons des performances très satisfaisantes. En prenant le fichier `sandmarkz.umz`, nous obtenons un temps de 18.424 secondes alors qu'une implantation JAVA peut aller jusqu'à plusieurs minutes pour finir l'exécution du programme.

1.5 Implantation de la machine universelle par liste

NOTE: Nous allons discuter de la première implantation de la machine universelle à partir de liste, celle-ci bien que fonctionnel est très lente et nous allons étudier ses performances. Il est donc à noter que cette implantation ci n'est pas à retenir pour une utilisation mais plutôt pour une analyse. Cependant si vous souhaitez voir le code, il se trouve dans le dossier `./archives/Universal_Machine_list`.

La première version de la machine universelle se repose sur une structure de liste, bien que cette implantation fonctionne, elle possède le désavantage d'être très lente. Le fichier `sandmarkz.umz` ne se termine toujours pas après 10 heures d'exécution. Ainsi afin de déterminer le

goulot d'étranglement du programme, nous avons utilisé le logiciel de profilage de code Gprof. Cet outil permet de récupérer les statistiques sur le temps et le nombre d'appel de fonctions dans une exécution du programme. Afin d'avoir un fichier en sorti nommé *gmon.out*, il faut au préalable désactivé l'optimisation à la compilation et compiler avec le flag *-pg*. Cependant, il faut que le programme termine correctement pour que ce fichier soit généré, nous avons donc décidé de bind le signal *SIGUSR1* comme ceci:

```
#include <signal.h>
...
void sig_exit(){
    exit(0);
}
...
int main(int argc, char **argv){
    signal(SIGUSR1, sig_exit);
    ...
}
```

Une fois le fichier *gmon.out* généré (nous avons lancé le signal *SIGUSR1* à la fin du sandmark 100, il suffit d'appliquer la commande:

```
gprof universal_machine gmon.out > analyse.txt
```

Nous obtenons dans le fichier *analyse.txt*:

Flat profile:

Each sample counts as 0.01 seconds.

%	cumulative	self		self	total	
time	seconds	seconds	calls	us/call	us/call	name
99.52	146.74	146.74	5307119	27.65	27.65	getArray
0.58	147.60	0.86				main
0.03	147.65	0.05	44683	1.01	1.01	removeArray
0.01	147.66	0.01	87030	0.12	0.12	addArray
0.00	147.66	0.00	87030	0.00	0.00	getFreeIndex
0.00	147.66	0.00	44683	0.00	0.00	addFreeIndex
0.00	147.66	0.00	1	0.00	0.00	initArrays
0.00	147.66	0.00	1	0.00	0.00	initFreeIndex
0.00	147.66	0.00	1	0.00	0.00	loadFile

Ainsi, sur les 147.66 secondes d'exécutions, près de 99.52% du temps de calcul est utilisé pour effectuer la fonction *getArray*. Nous atteignons aussi un nombre très élevés d'appel 5307119 pour un temps relativement cours. Les problèmes de performances étaient donc dû aux accès de tableaux, en raison de ce nombre important nous avons décidé d'utiliser une implantation de tableaux de tableaux plutôt qu'une implantation de liste de tableaux.

2

Compilateur S-UM

2.1 Choix d'outils

Dans ce projet, nous avons initialement choisit d'écrire le compilateur en C en utilisant les outils Yacc et Flex. Cependant, nous avons finalement choisit d'écrire le programme en JAVA avec ANTLR 4.4. Celui-ci, bien qu'il soit plus long à écrire, il a l'avantage d'être simple à l'utilisation. Le début de l'ancien compilateur C se trouve dans le dossier `./archives/compiler_old_c`. Le compilateur que nous utilisons et décrirons par la suite est le compilateur JAVA utilisant ANTLR se trouve dans le dossier `./sum`.

2.2 Grammaire

La grammaire se situe dans le chemin `./sum/SUM/ANTLRGrammar.g4` et suit la notation de la Forme de Backus-Naur (BNF). Cette grammaire est capable de reconnaître le langage S-UM.

```
grammar SUMgrammar;

prog returns [sum.interfaces.iast.IASTprogram node]
: (stmts+=stmt ';'?) * EOF
;

stmt returns [sum.interfaces.iast.IASTstatement node]
: expr #Expression
| 'let' var=IDENT '='? val=expr? #Binding
| 'print' val=expr #Print
| 'scan' var=IDENT #Scan
| 'if' cond=expr 'then' '{' (cons+=stmt ';'?) * '}'
  'else' '{' (alt+=stmt ';'?) * '}' #Alternative
;

expr returns [sum.interfaces.iast.IASTexpression node]
: intConst=INT # ConstInteger
| stringConst=STRING # ConstString
| ident=IDENT #Ident
| arg1=expr op=('*' | '/' | '+') arg2=expr #BinOp
| arg1=expr op=('<' | '=' | '>') arg2=expr #RelationBinOp
| arg1=expr op=('AND' | 'OR') arg2=expr #LogicBinOp
| 'NOT' arg=expr #LogicUnOp;
```



```

INT : [0-9]+;
IDENT : [a-zA-Z_] [a-zA-Z0-9_]*;
STRING : '"' (ESC | ~["\])* '"';
ESC : '\\' [\\nrt"];
LINE_COMMENT : '//' (~[\r\n])* -> skip;
COMMENT : '/*' (~* ~[/] | ~[*])* '*/' -> skip;
SPACE : [ \t\r\n]+ -> skip;

```

Ainsi un programme correspond à un ensemble de statements, ces statements sont quant à eux soit:

- une affectation
- un print
- un scan
- une alternative
- une expression

Les expressions peuvent être soit:

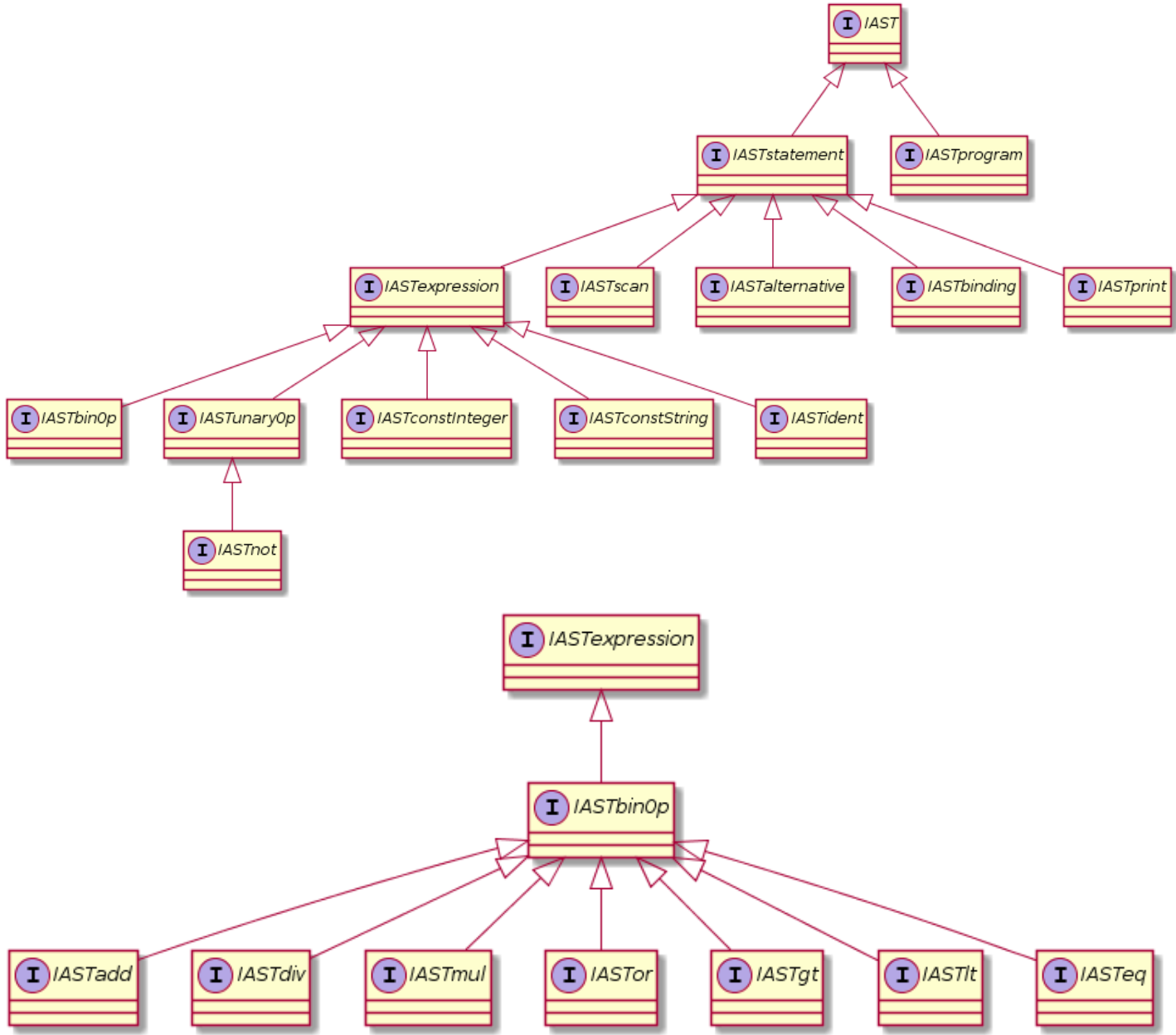
- une constante entière ou chaîne de caractères
- un ident
- une opération arithmétique binaire entre deux expressions
- une opération de relation binaire entre deux expressions
- une opération logique binaire entre deux expressions
- une opération logique unaire entre deux expressions

L'exécution de l'outil ANTLR sur ce fichier génère plusieurs classes JAVA permettant la reconnaissance du langage.

2.3 Arbre syntaxique abstrait

Afin de pouvoir générer un arbre syntaxique abstrait nous avons défini des interfaces dont l'implantation de celle-ci ne sont que des conteneurs. La déclaration des interfaces se trouvent dans le dossier ./sum/SUM/src/sum/interface et l'implantation dans le dossier ./sum/SUM/src/sum/ast.

Figure 2.1: Diagramme de classe de la structure générale



Pour générer l'arbre syntaxique abstrait nous avons implantée la classe `SUMListener` qui réalise l'interface `SUMgrammarListener`, elle permet notamment d'appliquer une action à chaque trait du langage reconnu. Nous avons aussi implanté la classe `SUMParser` qui initialise et effectue les appels corrects afin de construire l'arbre syntaxique abstrait. Ces classes sont disponibles dans le chemin `./sum/SUM/src/sum/parser`.

2.4 Compilation vers le langage S-UM

2.4.1 Design Pattern Visitor

Pour pouvoir parcourir et traiter chaque nœud de l'arbre syntaxique abstrait nous avons utilisé le design pattern visitor, ce qui est très adapté lorsque nous souhaitons faire de l'interprétation/compilation

en langage objet. Ainsi, tout les noeuds de l'AST possède une méthode *public void accept(IASVisitor visitor)*. L'implantation de la classe Compiler permet lors du parcours de l'AST, de le compiler.

2.4.2 Description générale de la compilation (Class Compiler)

Les variables suivantes servent à :

- `NO_CONTEXT` → Indiqué lors d'un visit si son évaluation doit être stocké
- `numInst` → Permet de savoir le nombre d'instructions écrit (utile pour l'alternative)
- `env` → Une Map permettant de garder en mémoire le nom de la variable et l'indice du tableau dans lequel il doit être stocké
- `fos` → Le flux de sorti

2.4.3 Stockage des calculs

Nous avons remarqué qu'il n'y a que 8 registres disponibles, nous sommes donc limités dans le stockage des calculs intermédiaires. Nous devons, donc trouver un moyen de stockage. Une propriété intéressante est que lors du chargement du programme, seul le tableau[0] est occupé, ainsi nous savons que les indices libres commencent à partir de 1, de ce fait nous pouvons à l'aide d'une variable entière `indVar` connaître l'indice de la prochaine allocation puisqu'à chaque allocation on effectue `indVar++`. Il est important de noter que pour cela fonctionne la désallocation ne se fera qu'à la sortie du programme, puisque nous incrémentons à chaque allocation `indVar`.

Cependant, il est possible de désallouer facilement lorsque nous en avons plus besoin, il suffit de garder les indices désalloués dans une liste, de la même manière que dans la machine universelle. Bien que simple à réaliser, pour des raisons de temps nous ne l'avons pas implanté. Chaque méthode `visit` possède un argument *int context*, celui-ci indique si différent de `NO_CONTEXT` le tableau dans lequel le résultat doit être stocké. La méthode `allocateVar()` traduit en langage UM, l'instruction d'allocation de taille 1 (puisque l'on stocke unique une valeur).

2.4.4 Traduction en instruction UM

Traduire en directement en binaire UM n'est pas chose aisée, c'est pour cela que nous avons défini des méthodes pour pouvoir traduire plus facilement. Les méthodes ci-dessous permettent :

- `public void writeOperation(int op, int regA, int regB, int regC)` → Permet d'écrire l'opération `op` avec les registres `a,b` et `c` en binaire UM dans le fichier de sorti, on écrit des bytes en utilisant des décalages. (Plus de détail dans le fichier Compiler en commentaire).
- `public void writeSpecialOperation(int regA, int value)` → Permet de charger une valeur non signé sur 25 bits dans le registre `A`. (Plus de détail dans le fichier Compiler en commentaire)
- `public void fetchIntoReg(int i, int reg)` → Récupère une valeur simple situé dans le plateau[`i`][0] dans le cas d'une variable et l'ajoute dans le registre `reg`.
- `public void putIntoArray(int i, int reg)` → Ajoute dans le plateau[`i`][0] la valeur dans le registre d'indice `reg`.
- `public void allocateVar()` → Alloue un plateau de taille 1 pour une variable.

2.4.5 Egalité

Ecrire les relation binaires n'était pas chose aisée, en effet, nous étions très limités dans les opérations possibles. Cependant, une remarque importante, soit a un entier $\text{NAND}(a,a)$ à pour effet d'inverser les bits. Les 0 deviennent 1 et les 1 deviennent 0.

Ainsi nous pouvons donc observer que $a + \text{NAND}(a,a) = 0b11..11$, tout les bits sont positionnés à 1.

Donc en additionnant ce résultat à 1, on dépasse 32 bits et donc on retourne à $0b00..00$.

Donc $a + \text{NAND}(a,a) + 1 = 0b00..00$.

On peut donc vérifier l'égalité $a = b$ par:

si $a + \text{NAND}(b,b) + 1 = 0b00..00$ alors $a = b$ sinon $a \neq b$.

Schéma de compilation: `context = (expr1 = expr2);`

```
int contextarg1 = indVar++;
allocateVar();
int contextarg2 = indVar++;
allocateVar();
tableau[contextarg1][0] <- expr1
tableau[contextarg2][0] <- expr2
reg[0] <- tableau[contextarg1][0]
reg[1] <- tableau[contextarg2][0]
reg[2] <- NAND(1,1)
reg[3] <- 1
reg[2] <- reg[2] + reg[3]
reg[0] <- reg[0] + reg[2]
reg[1] <- 1
reg[2] <- 0
reg[1] <- if reg[0] = 0 then reg[1] else reg[2]
tableau[context][0] <- reg[1]
```

2.4.6 Relation d'ordre: $>$ et $<$

Pour calculer la relation d'ordre $a > b$, il suffit simplement de faire une division entière. Si $a/b > 0$ alors la relation est vraie, cependant, il y a certaines mesures à prendre, il faut aussi vérifier le cas où $a = b$ nous réutilisons la code IAS_{Teq}. De plus, dans le cas où le dénominateur $b = 0$, nous divisons par 0, pour palier cela le calcul à considérer sera $(a+1)/(b+1)$. Cela ne change pas la relation car si $a/b > 0$ alors $(a+1)/(b+1)$ aussi.

Schéma de compilation: `context = (expr1 / expr2)`

```
int contextarg1 = indVar++;
allocateVar();
int contextarg2 = indVar++;
allocateVar();

tableau[contextarg1][0] <- expr1
tableau[contextarg2][0] <- expr2
reg[1] <- tableau[contextarg1][0]
reg[2] <- tableau[contextarg2][0]

//on ajoute 1 pour eviter la division par 0
```

```

reg[3] <- 1
reg[1] <- reg[1] + reg[3]
reg[2] <- reg[2] + reg[3]

//si reg[1]/reg[2] = 0 alors reg[1] < reg[2] car c'est une division entiere
reg[3] <- reg[1]/reg[2]
reg[0] <- 0
reg[4] <- 1
reg[0] <- if reg[3] != 0 then reg[4] else reg[0]

//on verifie que reg[1] != reg[2]
//ce sont les mêmes opérations que pour IASTeq
reg[3] <- NAND(reg[2], reg[2])
reg[4] <- 1
reg[3] <- reg[3] + reg[4]
reg[1] <- reg[3] + reg[1]
reg[2] <- 1
reg[3] <- 0

reg[2] <- if reg[1] != 0 then reg[3] else reg[2]
reg[1] <- 0
reg[0] <- if reg[2] != 0 then reg[1] else reg[0]

tableau[context][0] <- reg[0]

```

Le code pour l'opération $<$ est identique sauf que l'on change:

```

tableau[contextarg2][0] <- expr1
tableau[contextarg1][0] <- expr2

```