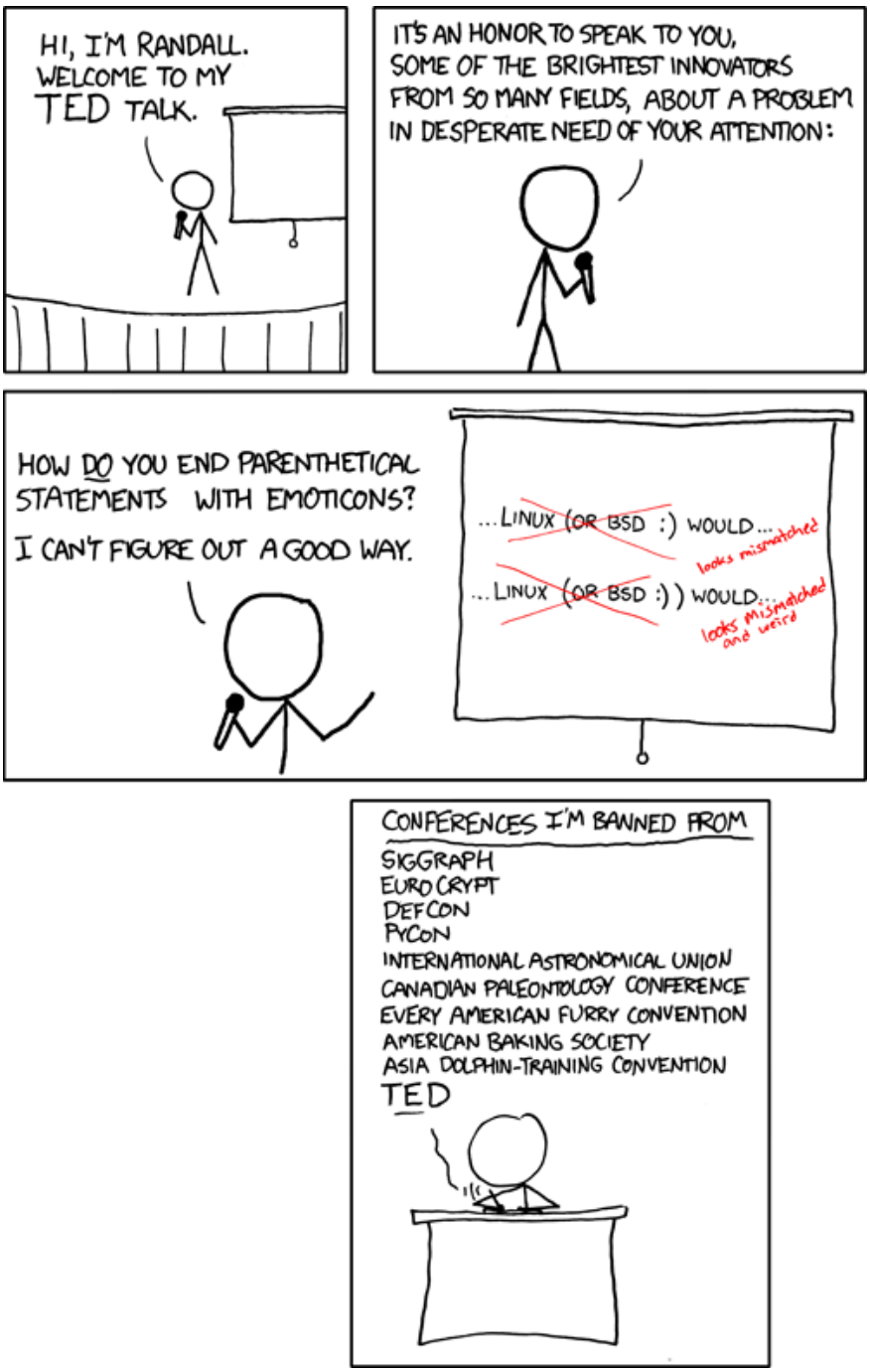
Van De Walle Bernard (B)
Francois Thibault (A)
Van Der Essen Frédéric (C)

INGI2132 : Langages et traducteurs

Rapport Final

Prof. B. Le Charlier



It is now possible with the HAPPY-) programming language!

0.1 Introduction

Voici le rapport final de notre projet où il nous était demandé de réaliser un interpréteur avec comme contrainte l'utilisation d'une syntaxe WP.

Nous pensons avoir complété l'entièreté du projet. Il reste cependant un oubli au niveau du vérificateur de grammaire : Celui ci ne vérifie pas la présence de Symboles non terminaux intermédiaires inutiles. Et certaines parties du code utilisent des raccourcis douteux.

Il reste donc très certainement de nombreux bogues à découvrir.

Le rapport suit à la lettre le plan donné dans les consignes.

Chapitre 1

Présentation de Happy :-)

1.1 Introduction

La langage happy, appelé ainsi parce qu'il est très permissif au niveau des caractères permit dans les identifiants comporte de nombreuses autres particularités. Tout d'abord, le langage ressemble très fort au LISP où tout est atom ou liste. Mais contrairement au LISP, notre langage est impératif et orienté objet. Un programme est une liste de méthode, une méthode est une liste dont le premier élément est le mot réservé fun le second une list d'argument et le dernier une liste de commande. Même principe pour le while et le if. Dans ce langage tout est fonction, dans le sens que toute instruction renvoie une valeur, y compris les if et le while qui renvoient 0, une fonction qui n'a pas d'instruction return renvoie null, le write renvoie la valeur qu'elle vient d'imprimer etc...

Les conditions aurait aussi renvoyé une valeur si le langage SLIP dans lequel notre langage est traduit le permettait.

1.2 Grammaire de départ

Cette grammaire est la grammaire exhaustive du langage si on rajoute que les id peuvent être formé de tout les caractères UTF-16 sauf des caractères réservés et qu'ils ne doivent pas être égale à un mot réservé.

```
<Program> ::= ( <Prog_list> )
<Prog_list> ::=  <Meth_or_fun> | <Prog_list> <Meth_or_fun>
<Meth_or_fun> ::=  <Method> | <Function>

<Function> := ( fun ( <Arglist> ) <Instr_list> )
<Arglist> ::=  id | id <Arglist>
<Method> ::= ( <Method_int> ( <Arglist> ) <Instr_list> )
```

```
<Instr_list> ::=  <Instr> | ( <Instr_list_np> )
<Instr_list_np> ::=  <Instr> | <Instr> <Instr_list_np>
<Instr> ::=  <Conditional> | <While_block> | <Call> | ( return <Expr> )

<Conditional> ::= ( if <Cond> <instr_list> <instr_list>  )
<Conditional> ::= ( if <Cond> <instr_list> )
<While_block> ::= ( while  <Cond> <Instr_list>  )
<call> ::=  <User_call> | <Method_call> | <Builtin_call>
<Builtin_call> ::=  <Assignment> | <Read_call> | <Write_call> | <Arithmetic_call>
<Assignment> ::= ( set id <Expr> )
<Assignment> ::= ( set <Id_int> <Expr> ) | ( set <This_int> <Expr> )
<Read_call>  ::= ( read )
<Write_call> ::= ( write <Expr> )
<Arithmetic_call> ::=  <Binary> | <Unary>
<Binary> ::= ( <Bin_id> <Expr> <Expr>  )
<Unary>  ::= ( <Un_id> <Expr>  )
<User_call>  ::= ( id  <Expr_list_np> ) | ( id )
<Expr_list_np> ::=  <Expr> | <Expr> <Expr_list_np>
<Method_call>  ::= ( <Id_id> <Expr_list_np>  ) |  ( <Id_id> )
<Method_call>  ::= ( <Super_id>  <Expr_list_np>  ) | ( <Super_id>  )
<Method_call>  ::= ( <This_id>  <Expr_list_np>  ) | ( <This_id> )
<Expr> ::= number | null | true | false | this | id
<Expr> ::= <Id_int> | <This_int> | <Instr>
<Cond> ::= <Rel> | ( <Log_bin_op> <Cond> <Cond> )
<Cond> ::= ( <Log_un_op> <Cond> <Cond> )
<Rel>  ::= ( <Rel_op> <Expr> <Expr> )
<Rel_op> ::= <= | >= | > |  < | =
<Log_bin_op> ::= and | or
<Log_un_op> ::= !
<Bin_id> ::= + | - | * | / | %
<Un_id> ::= neg
<Id_int> ::= id . number
<This_int> ::= this . number
<Super_id> ::= super . id
<This_id> := this . id
<Id_id> ::= id . id
<Method_int> ::= method . number
```

Cette grammaire n'est pas wp, mais elle exprime très bien ce qui est syntaxiquement correcte dans ce que nous avons réellement implémenté.

Voici quelque bout de code permis par cette grammaire :

```
[Le while s'écrit comme ceci while (la condition) (les instruction a répèter)
  ici la condition est 3 * i <= 9
```

```
On remarque aussi que sur ce bout de code on peut écrire
la valeur de retour de set qui sera ici i_initial + 1 ou i_final ]
(while (<= (* 3  i) 9) (write (set i (+ i 1))))

[Condition ici si i != 9 ]
[Ensuite si vrai on exécute la première list d'instruction sinon la seconde]
(if (! (= i 9)) (return true) (return false))
[Ceci est équivalent à sauf que dans le cas deux on voit clairement les listes d'ins
(if (! (= i 9)) ((return true)) ((return false)))

(fun (++ i) (return (+ i 1)))

(set i (++ i))

(set a (new 2))
```

1.3 Exemple de programme complet

Le premier programme imprime juste l'entier lu à la console.

```
(
  (fun (main)
    (write (read))
  )
)
```

Le programme suivant fait la somme de 1 à n pour 10 n

```
(
  [Programme fait la somme de 1 à n pour n qui va de 0 à 10]
  (fun (main) (
    (set i 0)
    (while (<= i 10)
    (
      (write (sum i))
      (set i (+ i 1))
    ))
  ))


  (fun (sum n) (
    (if (= n 0)
      (return 0)
    )
```

```
    (return (+ n (sum (- n 1))))
  ))
)
```

Le dernier programme fait la somme des éléments d'une pile et utilise la POO

```
(
  (fun (main) (
    (set s ( >> 4 ( >> 3 (>> 2 (# 1)))))
    (write (s.@))
    (write (s.->))
    (set s (>> 5 s))
    (Print s)
    (write (sum s))
  ))
  [crée une nouvelle pile avec a comme élément au sommet]
  (fun (# a) (
    (set b (new 2))
    (b.@= a)
    (b.->= null)
    (return b)
  ))

  [Push sur la stack]
  [a : l'élément à mettre sur la stack]
  [s : la stack]
  (fun (>> a s) (
    (set n (new 2))
    (n.->= s)
    (n.@= a)
    (return n)
  ))

  (fun (Print N) (
    (if (! (= N null)) (
      (write (N.@))
      (Print (N.->))
    )
    (write 0)
    )
  ))

  (fun (sum N) (
```

```
    (if (! (= N null))
      (return (+ (N.@) (sum (N.->))))
      (return 0)
    )

  ))
  [Accesseur pour l'élément contenu dans le noeud]
  (method.2 (@) (return this.1))
  ((method.2 (@= a) (set this.1 a))
  [Accesseur pour next]
  (method.2 (->) (return this.2))
  (method.2 (->= a) (set this.2 a))
)
```

1.4 L'analyseur Lexical

L'analyseur Lexical a pour fonction de sortir une suite de jetons concrets et de assez haut niveau, permettant de simplifier la tache du vérificateur de grammaire. Plus concrètement, il s'agit dans un premier temps de transformer un fichier texte en une suite de caractère, et de les parser les un après les autres. Chaque caractère donnera lieu à une action précise, par exemple les caractères spéciaux tel que les parenthèses et les points, etc... donnent lieux à un jeton entier. Les caractères qui ne sont pas des caractères spéciaux vont quand à eux remplir un buffer , qui sera rempli des qu'un caractère spécial ou délimiteur sera rencontré. Une fois qu'un caractère de ce type est rencontré, on procédera à l'analyse de ce que contient le buffer, et selon le cas on en déterminera le type du jeton à donner.

1.4.1 Entrée de l'analyseur lexical

Il est important de préciser correctement ce que l'analyseur lexical doit prendre en entrée. Par soucis de facilité, nous avons décidé de nous restreindre aux caractères ascii 8 bits, et plus particulièrement, toutes les lettres (miniscule et majuscule), les chiffres, les opérateurs *,+,/-, le symbole d'égalité, les parenthèses, les crochets ([]) , et le point.

Ensuite il est nécessaire de définir les différents symboles de base que l'analyseur lexical va passer à l'analyseur syntaxique.

Voici donc les différentes catégories que l'analyseur lexical va sortir :

- NUMBER : Représente un ou plusieurs chiffres à la suite.
- ID : Représente une suite de caractères qui n'est pas un mot réservé.
- UNARY_OP : Représente un opérateur unaire, tel que l'opérateur NOT :!
- BINARY_OP : représente un opérateur binaire, tel l'opérateur +
- *RESERVED_WORD* : représente un mot réservé. En fait la catégorie sera le nom du mot réservé (d'où les étoiles), par exemple FUN
- *BEFORE_AFTER* : Représente ce qu'il y a avant et après un point. BEFORE et AFTER peuvent valoir : THIS, ID, INT

Finalement, il est de bon aloi de préciser que les espaces, les caractères de tabulations et de nouvelle ligne servent évidemment de caractère de séparation. Il n'est par contre pas nécessaire de placer un espace après une parenthèse par exemple, vu qu'il est assez naturel que ce qui suit sera le début d'un nouveau symbole.

Pour ce qui est des commentaires, nous avons introduit les symboles de crochet ([]). Tout ce qui se trouvera entre ces deux crochets (et les crochets eux-même compris), sera purement et simplement ignoré. Les commentaires peuvent donc s'étendre sur plusieurs lignes sans aucun problème.

Notre analyseur lexical ne renvoie plus de jetons à partir du moment où on atteind la fin du fichier. Il n'est pas nécessaire de terminer le fichier d'une

manière particulière.

1.4.2 Symboles terminaux de bases

¡Instr¿ — number — null — true — false — this — id — ¡Id_int¿ — ¡This_int¿

( ) ¡= ¿= ¿ ¡ = and or ! + - * / % neg id . number this super while if set write read fun method null true false
C'est-à-dire tout les mots réservé qui se trouve dans le tableau RESERVED_WORD dans la classe *WordIdentifier.java* et tout le reste qui sont des id.

1.4.3 Grammaire formelle

```
<Program> ::= ( <Prog_list> )
<Prog_list> ::=  <Meth_or_fun> | <Prog_list> <Meth_or_fun>
<Meth_or_fun> ::=  <Method> | <Function>

<Function> := ( fun ( <Arglist> ) <Instr_list> )
<Arglist> ::=  id | id <Arglist>
<Method> ::= ( <Method_int> ( <Arglist> ) <Instr_list> )

<Instr_list> ::=  <Instr> | ( <Instr_list_np> )
<Instr_list_np> ::=  <Instr> | <Instr> <Instr_list_np>
<Instr> ::=  <Conditional> | <While_block> | <Call> | ( return <Expr> )

<Conditional> ::= ( if <Cond> <instr_list> <instr_list>  )
<Conditional> ::= ( if <Cond> <instr_list> )
<While_block> ::= ( while  <Cond> <Instr_list>  )
<call> ::=  <User_call> | <Method_call> | <Builtin_call>
<Builtin_call> ::=  <Assignment> | <Read_call> | <Write_call> | <Arithmetic_call>
<Assignment> ::= ( set id <Expr> )
<Assignment> ::= ( set <Id_int> <Expr> ) | ( set <This_int> <Expr> )
<Read_call>  ::= ( read )
<Write_call> ::= ( write <Expr> )
<Arithmetic_call> ::=  <Binary> | <Unary>
<Binary> ::= ( <Bin_id> <Expr> <Expr>  )
<Unary>  ::= ( <Un_id> <Expr>  )
<User_call>  ::= ( id  <Expr_list_np> ) | ( id )
<Expr_list_np> ::=  <Expr> | <Expr> <Expr_list_np>
<Method_call>  ::= ( <Id_id> <Expr_list_np>  ) |  ( <Id_id> )
<Method_call>  ::= ( <Super_id>  <Expr_list_np>  ) | ( <Super_id>  )
<Method_call>  ::= ( <This_id>  <Expr_list_np>  ) | ( <This_id> )
<Expr> ::= number | null | true | false | this | id
```

```
<Expr> ::= <Id_int> | <This_int> | <Instr>
<Cond> ::= <Rel> | ( <Log_bin_op> <Cond> <Cond> )
<Cond> ::= ( <Log_un_op> <Cond> <Cond> )
<Rel>  ::= ( <Rel_op> <Expr> <Expr> )
<Rel_op> ::= <= | >= | > |  < | =
<Log_bin_op> ::= and | or
<Log_un_op> ::= !
<Bin_id> ::= + | - | * | / | %
<Un_id> ::= neg
<Id_int> ::= id . number
<This_int> ::= this . number
<Super_id> ::= super . id
<This_id> := this . id
<Id_id> ::= id . id
<Method_int> ::= method . number
```

Cette grammaire est identique à celle

1.4.4 Représentation des symboles lexicaux

Les Symboles lexicaux sont représenté à l'aide d'un objet de type LexicalTerm. Cet objet contient deux informations nécessaires. La première est la catégorie du symbole lexical, comme défini un peu plus haut. La seconde information est ce que contient concrètement le symbole lexical. Afin de clarifier cela, un petit exemple s'impose : Imaginons que l'analyseur lexical découvre un identifiant pour le mot "valeura" dans le fichier source. Dans ce cas, il créera un objet LexicalTerm contenant l'information suivante :

- TYPE : ID
- CONTENT : valeura

Dans le cas où maintenant le mot réservé fun est rencontré, l'objet LexicalTerm alors créé contiendra :

- TYPE : fun
- CONTENT : fun

1.4.5 Spécification rigoureuse des méthodes publiques de l'analyseur lexical

De manière concrète, l'analyseur lexical a été réalisé en implémentant l'interface Iterator et Iterable. Les méthodes publiques seront dons les méthodes propres à ces interfaces . Les méthodes utilisées par l'analyseur syntaxique sont donc :

La méthode hasNext()

```
/**
 * Returns true if the iteration has more elements.
```

```
     * (In other words, returns true if next() would
     * return an element rather than throwing an exception.)
     *
     * @return true if the iteration has more Term
     */

public boolean hasNext()
```

La méthode next()

```
    /**
     * @return the next Term in the iteration
     * @throws NoSuchElementException if the iteration has no more Term ( the end o
     */

 public Term next()
```

1.4.6 principe d'implémentation

Le principe d'implémentation est assez simple. Lorsque l'analyseur syntaxique appelle la méthode next() , l'analyseur lexical va lire les caractères suivants dans le fichier, jusqu'a pouvoir déterminer le prochain token.

Tant qu'un caractère de séparation n'est pas reconnu (un espace, une parenthèse,...), le caractère suivant est lu et placé dans un buffer. Lorsqu'un caractère de séparation est finalement rencontré, ce qui a été mis précedemment dans le buffer devient le prochain jeton, et le caractère de séparation deviendra celui d'après (sauf si il s'agit d'un espace , d'une nouvelle ligne, ou d'un caractère de tabulation).

1.4.7 Tests de l'analyseur lexical

Le but de ces tests est de voir les erreurs que renvoie l'analyseur lexical, et surtout de les comprendre.

Test avec entrée valide

Voici un petit programme qui est accepté par l'analyseur lexical, il n'affiche donc pas d'erreur, et le programme se déroule bien.

```
(
(fun (main) (
(set i 0)
(while (<= i 10)
(
(write i)
(set i (+ i 1))
```

```
)
)
))
)
```

Tests avec entrée invalide

T est d'un programme ayant une parenthèse fermante de trop (à la fin) :

```
(
(fun (main) (
(write 42)
))
)
)
```

Sortie de l'analyseur lexical :

```
Too much )
```

L'analyseur lexical a donc bien détecté qu'il y a trop de parenthèses fermantes.

D e même, si trop peu de parenthèses fermantes sont présente à la fin du fichier, l'analyseur lexical le détecte :

```
(
(fun (main) (
(write 42)
))
```

En sortie :

```
Unexpected end
```

1.5 Vérificateur de grammaire WP

1.5.1 BNF Parser

Le point de départ du vérificateur de grammaire est le parser BNF. Ce parser permet d'avoir sous une forme utilisable que nous détaillerons plus loin, les règles contenue dans le fichier. Le loader charge le fichier et le lit ligne par ligne. Chaque ligne contient l'ensemble des règles de production d'un non terminal, séparées par des barres. Les non terminaux sont entre '¡','¿' et les terminaux sont entre guillements. On peut échapper les guillements ou les comparateurs par un backslash. Voici un exemple de fichier BNF accepté par le parseur :

```
␣␣<E>␣::=␣<T>␣|␣'\\'␣<T>␣|␣<T>␣'+'␣<E>
␣␣<T>␣::=␣<F>␣|␣<F>␣'*'<T>
␣␣<F>␣::=␣'\''
```

1.5.2 Représentation Java de la grammaire et de ses éléments

Toutes les classes représentant la grammaire et le parsing du bnf se trouvent dans le package *happy.parser.bnf*

Term

Le *Term* est la classe représentant le symboles terminaux et non terminaux de la syntaxe. *Term* représente aussi les terminaux renvoyés par l'analyseur lexical, et les noeuds des différents arbres syntaxiques. Cela permet d'éviter les conversions inutiles dans nos différents algorithmes. Sa méthode qui nous concerne ici est getType() qui renvoit le nom du symbole (Number , Identifier , ...)

CatList

La *Catlist* est une liste de *Term* représentant une partie droite de production.

Rule

La *Rule* représente une règle de production. getName() renvoie le *Term* de la partie gauche, et getOrList() renvoie une liste de *Catlist*

1.5.3 Architecture

Le vérificateur de grammaire est implémenté comme une série de test statique correspondant aux conditions de Weak Precedence.

Tous ces tests prennent en paramètre la grammaire (une liste de "Rules")

Un test global - *CheckAll* - se charge de tester l'ensemble de ces tests. Toutes les classes et méthodes correspondantes se trouvent dans le package *happy.checker*

1.5.4 Test de symbole vide (*CheckLambda*)

Ce test s'assure qu'aucune règle n'a de production vide (lambda). Ce test parcourt simplement l'arbre de la définition grammaire et vérifie l'absence de terminaux lambda. Ce test vérifie aussi l'absence de Non terminaux n'ayant pas de règles de productions.

1.5.5 Test de conflit de préférence (*CheckPrecedence*)

Ce test vérifie qu'il n'y ait pas de conflit entre les précédence de symbole. Le seul conflit autorisé est entre $\lessdot$ et $\doteq$ qui donne la relation de précédence $\dot{\leq}$

Pour faire cela, le test construit deux ensemble pour chaque non-terminal : First et Last. Ceux-ci permettront de déterminer très facilement les précédences par la suite. Soit un non terminal A : $First(A)$ contient l'ensemble des terminaux et non terminaux pouvant se trouver sur l'extrème gauche d'une production de A. $Last(A)$ contient l'ensemble des terminaux et non terminaux pouvant se trouver sur l'extrème droite d'une production de A.

Pour calculer Tous les First on utilise l'algorithme suivant :

1. Pour tout non terminal A de la grammaire : On identifie les règles correspondantes. Pour chacune d'entre elles on identifie si elles commencent par un terminal, et si c'est le cas on les ajoute à $First(A)$.
2. Pour tout non terminal A de la grammaire : On identifie les règles correspondantes, Pour chacune d'entre elles, on identifie si elles commencent par un non terminal B. Si c'est le cas on ajoute B et $First(B)$ à $First(A)$.
3. on répète l'étape précédente tant que les $First$ changent.

L'algorithme pour trouver les Last est identique à ceci près qu'on examine les cotés droits des règles.

Une fois que l'on a ces deux ensembles on peut calculer la table de précedence, grace à l'algorithme suivant :

1. On initialise tous les éléments de la table à '$Nothing$'
2. On identifie toutes les parties droites, et pour chacune d'entre elles on identifie tous les symboles côte à côte ..XY..
3. On ajoute $X \doteq Y$ dans la table.
4. Si X non terminal : Pour tout symbole s dans $Last(X)$, Pour tout terminal t dans $First(Y)$ on met $s \gtrdot t$ dans la table. Si Y est terminal on met $s \gtrdot Y$ dans la table.

5. Si Y non terminal : Pour tout symbole s dans $First(Y)$, on met $X \lessdot s$ dans la table.
6. Si à un moment on met une relation dans la table là ou précédemment il n'y avait pas '$Nothing$', on a un conflit. Les conflits impliquant $\lessdot$, $\doteq$ et $\dot{\leq}$ sont résolus en insérant $\dot{\leq}$ dans la table. Les autres conflits sont marqués en tant que conflits et reportés.
7. Si il y a des conflits non résolus dans la table alors le Test échoue, la grammaire n'est pas valide Weak Precedence.

1.5.6 Preuve de l'algorithme

Cet algorithme nous vient de l'ouvrage *Parsing techniques - A practical guide de Dick Grune et Ceriel J.H Jacobs*

$\doteq$

Le critère utilisé par notre algorithme est identique à celui donné dans le cours.

$\lessdot$

Le cours donne le critère suivant : On a $X \lessdot Y$ si pour $A \Longrightarrow ..XC..$ on a $C \overset{+}{\Longrightarrow} Y..$ On constate que $First(C)$ donne tous les symboles terminaux et non terminaux tels que $C \overset{+}{\Longrightarrow} Y..$ le critère utilisé est donc identique.

$\gtrdot$

Le cours donne le critère suivant : On a $X \gtrdot y$ si pour $A \Longrightarrow ..BC..$ on a $B \overset{+}{\Longrightarrow} ..X$ et $C \overset{*}{\Longrightarrow} y..$ $Last(B)$ donne tous les symboles tels que $B \overset{+}{\Longrightarrow} ..X$ et $First(C)$ donne tous les symboles tels que $C \overset{+}{\Longrightarrow} Y..$ on en prend tous les terminaux et C lui même si terminal pour avoir l'ensemble tel que $C \overset{*}{\Longrightarrow} y..$ Le critère utilisé est donc identique.

1.5.7 Test de Suffixe

Ce test vérifie que les relations de suffixe sont respectées. C'est à dire : Pour tout couple de règles $Z \Longrightarrow \beta$, $X \Longrightarrow \alpha Y \beta$, on vérifie que $\neg(Y \doteq X)$, $\neg(Y \lessdot X)$ et $\neg(Y \dot{\leq} X)$.

Pour ce faire nous utilisons la méthode suivante : Pour chaque règle $Z \Longrightarrow \beta$, pour toute autre règle $X \Longrightarrow \alpha$ on regarde si on peut matcher β comme suffixe de α. Dans l'affirmative, on identifie le symbole juste avant le suffixe. Nous pouvons a ce moment vérifier la condition décrite expliquée précédemment. Si elle n'est pas vérifiée. le Test échoue, la grammaire n'est pas valide.

1.5.8 Test de Cycles

Un cycle est definit formellement par tout ensemble de règles de productions donnant $E \overset{+}{\Longrightarrow} \alpha E \beta$. ou α et β sont 'nullables'. Comme en WP il ne peut y avoir de productions vides, on vérifie $\neg(E \overset{+}{\Longrightarrow} E)$. Pour ce faire on crée un graphe directionnel ayant pour noeuds les symboles non terminaux et pour arcs les règles de productions de type $A \Longrightarrow B$. On vérifie ensuite l'absence de cycles dans ce graphe via un algorithme adéquat.

1.5.9 Spécifications des méthodes importantes

```
  /**
 *
 * @param rules The rules list
 * @param table The precedence table
 * @return a list of tuple (triple)
 * that contains the two conflicting rules and
 * the suffix the cause the conflict
 */
public static List<RulesTuple> checkSuffix(List<Rule> rules,
Hashtable<Term,Hashtable<Term,String>> table)

/**
 * Regarde si la grammaire n'a pas de conflits de précédence.
 * Affiche la table des précédence à la sortie standard.
 * @param grammar Une grammaire cohérente :
 * tous les non terminaux ont au moins une règle.
 * @return true si la grammaire est valide, false sinon.
 */
public static boolean checkPrecedence(List<Rule> grammar)

/**
 * Met une relation de précédence dans la table de précédence et
 * résout les conflits. Affiche les détails de l'erreur à la sortie
 * standard en cas de conflits. Si le conflit est entre <. ou <.= ou =.
 * celui ci est résolu en insérant un <.=
 *
 * @param table la table de précédence
 * @param X le premier Terme
 * @param Y le second Terme
 * @param rel la relation de précédence ( EQ,LE,GE,LEQ,ERROR,NOTHING)
 * @param rule la règle d'ou provient X et Y.
 * @return true si il n'y a pas de conflits, false sinon.
 */
public static boolean tableSet(Hashtable<Term,Hashtable<Term,String>>
table, Term X, Term Y, String rel, Rule rule)
```

```
/**
 * Calcule l'ensemble First pour chaque Terme correspondant aux Termes
 * pouvant se trouver à l'extrème gauche de celui ci.
 * @param grammar la grammaire
 * @return une Hashtable qui fait correspondre à chaque Terme son set First.
 */
public static Hashtable<Term,Set<Term>> FirstSet(List<Rule> grammar)

/**
 * Calcule la table de précédence WP et si celle ci contient des conflits.
 * En cas de conflits, ceux ci sont affichés à la sortie standard.
 * @param grammar la grammaire
 * @param table une Hashtable à deux dimensions dont l
 * es clefs sont tous les couples
 *  de termes existant dans grammar.
 *  Tous les éléments de table sont initialisés
 *  à NOTHING.
 * @return true si il n'y a pas de conflits dans la table, false sinon.
 */
public static  boolean precTable(List<Rule> grammar,
Hashtable<Term,Hashtable<Term,String>> table)

/**
 * Vérifie que la liste ne contient pas d'expensions vides,
 * en cherchant les termes 'lambda' dans tous les termes de toutes
 * les règles.
 * @param grammar la grammaire
 * @return  true si la grammaire ne contient pas de terme 'lambda',
 *  false sinon.
 */
public static boolean checkLambda(List<Rule> grammar)
```

1.6 Test du vérificateur

Nous avons testé notre vérificateur de grammaire avec les grammaires fournie sur icampus pour finalement tester avec notre grammaire. Ici je ne montrerai que le test final pour notre grammaire.

1.6.1 Premier Test

```
<A> ::= <A> 'a'
<A> ::= <B>
<B> ::= 'a'
<B> ::= <A> <B>

Check conflit suffix :
---------------------------
A   A
<.
---------------------------
---------------------------
```

```
B   A
<=
----------------------------
conflit avec a:true
A ::= A:false a:true
B ::= a:true

conflit avec B:false
B ::= A:false B:false
A ::= B:false
```

Validity grammar : false
Ce test concorde bien avec l'exmple donné

```
Grammaire non WP :
règle 1 : B --> a
règle 2 : A --> A a
A <. B
Grammaire non WP :
règle 1 : A --> B
règle 2 : B --> A B
A <. A
```

1.6.2 Second Test

:

```
<E> ::= <T>
<E> ::= '+' <T>
<E> ::= <E> '+' <T>
<T> ::= <F>
<T> ::= <T> '*' <F>
<F> ::= 'x'
<F> ::= '(' <E> ')'
```

C'est bien une grammaire WP :

```
Precedence Table
    |(   |)   |*   |+   |T   |E   |F   |x   |
     ========================================
(   | <. |    |    | <. | <. | <= | <. | <. |
     ----------------------------------------
)   |    | .> | .> | .> |    |    |    |    |
     ----------------------------------------
*   | <. |    |    |    |    |    | .= | <. |
     ----------------------------------------
+   | <. |    |    |    | <= |    | <. | <. |
     ----------------------------------------
T   |    | .> | .= | .> |    |    |    |    |
     ----------------------------------------
E   |    | .= |    | .= |    |    |    |    |
     ----------------------------------------
F   |    | .> | .> | .> |    |    |    |    |
     ----------------------------------------
x   |    | .> | .> | .> |    |    |    |    |
     ----------------------------------------

No conflicts in table
Validity precedence : true
Check conflit suffix :
Validity grammar : true
```

1.6.3 Troisième Test

Dernière grammaire qui est normalement fausse :

```
E --> T
E --> + T
E --> T + E
T --> F
T --> F * T
F --> x
F --> ( E )

Precedence Table
```

```
    |(   |)   |*   |+   |T   |E   |F   |x   |
     ========================================
(   | <. |    |    | <. | <. | .= | <. | <. |
     ----------------------------------------
)   |    | .> | .> | .> |    |    |    |    |
     ----------------------------------------
*   | <. |    |    |    | .= |    | <. | <. |
     ----------------------------------------
+   | <. |    |    | <. | <= | .= | <. | <. |
     ----------------------------------------
T   |    | .> |    | .= |    |    |    |    |
     ----------------------------------------
E   |    | .= |    |    |    |    |    |    |
     ----------------------------------------
F   |    | .> | .= | .> |    |    |    |    |
     ----------------------------------------
x   |    | .> | .> | .> |    |    |    |    |
     ----------------------------------------

No conflicts in table
Validity precedence : true
Check conflit suffix :
----------------------------
E   +
.=
----------------------------
conflit avec T:false
E ::= +:true T:false
E ::= T:false

Validity grammar : false
```

1.7 Analyse syntaxique

1.7.1 Grammaire WP du langage

```
<l0> ::= <l_block>  ')' | 'l_id'
<l_block> ::= '(' <l_list>
<l_list> ::= <l0> | <l0> <l_list>
```

Étant donné les nombreux déboires et retournement de situations pour rendre notre syntaxe WP nous avons décidé d'utiliser une autre approche qui consiste à seulement différencier les niveaux d'imbrication de parenthèses et les 'identifiants' qui comprennent les identifiants, mais aussi les mots réservés et les nombres. Ceux ci sont désignés par 'l_id' dans la grammaire, mais en pratique ces symboles gardent leur type donné par l'analyseur lexical. Le gros du travail est donc délégué aux étapes ultérieures.

1.7.2 Problèmes rencontrés

Le premier problème venait du flou entourant la definition de cycle. Nous avions travaillé sur une mauvaise définition beaucoup trop restrictive qui nous a amené a différencier chaque niveau d'imbrication. Comme cela n'était pas possible avec la syntaxe de base nous avons utilisé la syntaxe minimaliste présentée ci-dessus. Lorsque nous nous sommes rendu compte de notre erreur, nous avons continué dans notre approche. En effet la validation de la syntaxe n'est pas spécialement plus compliquée au niveau de l'arbre syntaxique.

Le second problème est un conflit de précédence au niveau des parenthèses qui a été résolu en séparant les paires de parenthèses en deux rêgles de production séparées.

1.7.3 Code de l'analyseur syntaxique

Voici le code de l'analyseur syntaxique, la méthode principale est parse, qui fait appel aux sous méthodes *shift* et *reduce* L'invariant de parse est le suivant : Soit S la stack : et L la liste de symboles non encore lus :

- soit S contient une poignée à son sommet.
- soit S ne contient pas de poignée et L est non vide.
- soit S contient l'unique symbole start et L est vide et la syntaxe est parsée.
- soit le programme n'est pas valide.

parse() passe de l'un de ces cas à l'autre avec shift et reduce pour consommer L et arriver au symbole de départ, ou à une erreur auquel cas le programme s'arrète.

```
/*
 * @pre :~
 * @post: A terminal is read from the lexical parser and put ont
```

```
 * the top of the stack, and returns true.
 * If there is no terminal left to read, it will do nothing and return
 * false
 */
public boolean shift(){
        if(next == null && lexParser.hasNext()){
                System.out.println("coucou");
                stack.push(lexParser.next());
                if(lexParser.hasNext()){
                        next = lexParser.next();
                }
                return true;
        }else if(next != null){
                stack.push(next);
                next = lexParser.next();
                return true;
        }
        return false;
}
/*
 * @pre : There is a symbol on the stack.
 * @post : ~
 * @returns :
 * Returns the precedence relation between the symbol with index
 * i and i+1 on the stack. If i is equal to the stack size -1 it
 * returns the precedence relation with the symbol that will be
 * placed on the stack on the next shift.
 */
public String prec(int i){ ... }
/*
 * @pre : ~
 * @post : Prints the stack and the next element.
 */
public void printStack(){ ... }
/*
 * @pre: ~
 * @post: ~
 * @return: true if there is only the start symbol left on the stack, and
 * nothing left to read on the lexical parser.
 */
public boolean done(){ ... }
}
/*
 * @pre : There is a symbol on the stack.
 * @post :
 * Tries to match the stop of the stack with the right side of a rule.
 * It will try to match <.= ... > handles first. If it cannot match
 * the first <. ... .> handle found, it will stop and return false.
 * If it finds a match the handle is removed from the stack, put as
 * the child of a new Term corresponding to the left hand of the matching
 * rule, and that Term is put on the top of the stack.
 * @return : returns true if could reduce, false if it couldn't.
 */
public boolean reduce(){
        int i = stack.size() -1; /* beginning of the handle */
        boolean hard = false;   /*it has tried to match a < ... > handle */
        boolean match = true;
        while(i >= 0){
                int matchsize = stack.size()-i;
                if(     prec(i-1).equals(CheckPrecedence.LE)
                        ||      prec(i-1).equals(CheckPrecedence.LEQ)){
                        if(prec(i-1).equals(CheckPrecedence.LE)){
                                hard = true;
                        }
                        for(Rule r:grammar){
                                for(CatList c:r.getOrList()){   /*we iterate over rules */
                                        List<Term> L = c.getTermList();
                                        if(L.size() != matchsize){
                                                continue;
                                        }
                                        int j = 0;
                                        match = true;
                                        while(j < matchsize){   /*matching the handle with the rule*/
                                                if(!L.get(j).equals(stack.get(i+j))){
                                                        match = false;
                                                        break;
                                                }
                                                j++;
                                        }
                                        if(!match){
                                                continue;
                                        }
                                        Term R = new TermImpl(r.getLeftSide().getType(),false);
                                        j = 0;
```

```
                                        while(j < matchsize){ /*removing from the stack and adding to the child list */
                                                R.getChildList().add(stack.remove(i));
                                                j++;
                                        }
                                        stack.push(R);
                                        return true;
                                }
                        }
                }
                if(hard){
                        return false;
                }
                i--;
        }
        return false;
}
/*
 * @pre : the object has been correctly initialized with a lexical
 * parser and a precedence table.
 * @post : Tries to parse the input, if successful puts the result in tree and
 * returns true. returns false and prints an error message otherwise.
 */
public boolean parse(){
        while(shift()){
                while(prec(stack.size()).equals(CheckPrecedence.GE)){
                        if(!reduce()){
                                if (done()){
                                        tree = stack.get(0);
                                        return true;
                                }
                                System.out.println("Syntax Error : Could not reduce");
                                printStack();
                                return false;
                        }
                        if(done()){
                                tree = stack.get(0);
                                return true;
                        }
                }
        }
        if (done()){
                tree = stack.get(0);
                return true;
        }else{
                System.out.println("Syntax Error : Program too long");
                return false;
        }
}
```

1.8 Traduction du programme en code interne

1.8.1 Création de l'arbre syntaxique du programme

L'arbre syntaxique est consitué de *Term* afin qu'il puisse être généré directement par l'analyseur syntaxique. La méthode getChildList() de la classe Term renvoie la liste des *Term* enfants.

Le code de l'analyser syntaxique prend en entrée un flux Term qui sont tous terminaux. L'analyseur syntaxique n'a besoin que des méthodes définie dans l'interface Term pour construire l'arbre. Voici cette interface :

```
public interface Term {
  /**
  *
  * @return true if the term is a terminal term
  */
  public boolean isTerminal();

  /**
  *
  * @return Le type du term pour l'analyseur syntaxique.
  */
  public String getType();

  /**
  *
  * @return la valeur du term, c'est à dire la chaine de caractère
  * parsée par l'analyseur lexical.
  * Si le term n'est pas terminal, il n'a pas de valeur
  */
  public String getValue();

  /**
  * Modifie la valeur du term
  * @param v la nouvelle valeur du term
  * @return this
  */
  public Term setValue(String v);

  /**
  * Renvoie la liste des enfants du terme, cette liste n'est pas vide que
  * si le term n'es pas terminal
  * @return
  */
  public List<Term> getChildList();

  /**
  * Imprime l'arbre qui est représenté par le term
  * Indent définit le niveau d'indentation, lorsqu'on imprime
  * l'arbre entier le point de départ est 0
  * @param indent
  */
  void printTree(int indent);


}
```

Une fois le code déjà donné dans le chapitre 6 exécuté, l'arbre (le Term) passe dans le treeOrganiser.

La première chose à faire avec l'arbre généré par l'arbre brut est de mettre tout ce qui est au même niveau de parenthèses au même niveau dans l'arbre. Pour cela on le parcourt et on fusionne récursivement tous les *l_blocks* et les *l_lists* dans leurs parents. Comme les *Term* gardent en mémoire le type donné à l'analyse syntaxique, les terminaux récupèrent automatiquement le bon type.

Voici la spécification de la seul méthode public du *TreeOrganiser* :

```
 /**
  * Contracte l'arbre sortit par l'analyseur syntaxique. Tout les l_list et l_block sont
  * retiré, à la fin il ne reste que des l0 qui sont soit des terminaux ou des listes de l0.
  * @return L'arbre représenté sous la forme d'un lexicalTerm
  */
public LexicalTerm contract()
```

La structure de donnée LexicalTerm est très similaire à Term, elle implémente l'interface on a rajouté une méthode getLexicalTerm qui est le type donnée par le parser lexical. Ces types ont été listé dans la partie sur l'analyseur lexical. Une fois l'arbre mis en forme et les types des termes réels révélés (pas ceux juste présent pour construire l'arbre), on passe à la traduction.

1.9 traduction

Il y a trois grande famille de traduction, la traduction des définitions de méthode, la traduction des instructions et la traduction des conditions. La traduction des définitions de méthode est assez facile car on sait qu'un programme en Happy est une liste de méthode. Donc les enfants de la racine sont les méthodes, l'enfant 0 de l'enfant est le mot clé, l'enfant 1 sont les paramètres et l'enfants 2 est la suite d'instruction.

```
/**
 * Point de départ de l'exploration de l'arbre.
 * t est un term qui une liste de term qui est en accord avec la définition
 * des méthodes ou des fonctions.
 * Si t n'est pas conforme aux définitions, une erreur de syntaxe est lancée et le programme
 * se termine
 * @param t
 * @return la Cmethod
 */
private Cmethod analyseMethod(LexicalTerm t) {
```

Une fois les arguments et le nom de la méthode récupéré il faut commencé à ajouté toutes les instructions à au corps de la méthode. La méthode privée addBody crée une liste vide qui accueillera toutes les instructions de la méthode. Cette table permet de placer en premier les instructions qui se trouvent au fond de l'arbre pour gérer correctement les appels imbriqués.

Les instructions dans le langage Happy sont toutes des expressions, c'est-à-dire qu'elle renvoie une valeur. Contrètement dans la traduction cela ce fait par l'assignation d'une valeur (qui dépend du type d'instruction) variable annonyme qui sera renvoyé à la méthode appelante. Cette méthode appelante utilisateur la variable si elle en a besoin.

Voici un petit exemple qui sera plus parlant :

Considérons le code Happy suivant :

```
(write
  (set a
    (+ 7 8)
  )
)
sera traduit en:
A_0 = 7 ; //l'expression 7 est assignée à A_0
A_1 = 8 ; //idem pour 8
A_2 = (A_0 + A_1) ; //l'expression (+ A_0 A_1) est assignée à A_2
a = A_2 ; //assignation de l'expression (+ A_0 A_1) à a en passant par A_2
A_3 = a ; //set renvoie la variable qu'il vient d'assigner
write(A_3) ;
```

Les conditions fonctionne un peu comme l'exploration

1.10 Sémantique Opérationelle

1.10.1 Domaines sémantiques

Valeurs Val $\doteq$ Int + Référence + {null} + {undefined}

Une Valeur représente soit un entier soit une réference vers une autre valeur ou un autre objet. Les cas limite sont aussi compris. Il s'agit de Null pour une réference ne pointant vers rien et de NonInit pour un Int qui n'aurait pas été initialisé. *Undefined* représente une variable dont la valeur n'a pas encore été spécifiée et dont le type n'est donc pas connu. Les champs des objets fraichement alloués sont de type *undefined*.

Environnement Env $\doteq \mathbb{X}$ + {this} $\rightarrow$ Val

Un environnement est une fonction assurant la correspondence entre une variable ou *this* et la valeur de celle-ci.

Store Store $\doteq$ Ref $\rightarrow < n, < v_1, v_2, ..., v_n >>$

Store est une fonction. La valeur d'une variable pointant vers un objet est une référence. Plusieurs variables peuvent donc avoir des références de même valeur et pointer vers le même objet. Le store est une fonction qui permet d'établir une correspondance entre la référence et la valeur de l'objet.

Pile Pile $\doteq <$ Env, Label, X, $<$ Pile $>>$

La pile permet au programme de gérer les changements d'environnement qui interviennent à chaque appel ou retour de fonction. La pile est une pile contenant à chaque étage l'environnement courant, le label et la variable de retour. Une pile n'est bien évidemment pas infinie,il est cependant assez difficile de modéliser cette contrainte de manière formelle.

Etats Etat $\doteq < e, l, s, P, in, out >$

$e \in$ Env
$l \in$ Label
$s \in$ Store
$P \in$ Pile

L'état comprend tout ce qui est nécessaire pour continuer l'exécution du programme, en excluant le code source de celui-ci, cela veut dire l'environnement, le label de l'instruction courante, le store, ainsi que la pile d'appel de fonction.

in In $\doteq$ Pile $\rightarrow$ Val

La fonction In permet de lire la première valeur de la pile (donc la dernière valeur entrée par l'utilisateur).

Out $\doteq$ Val $\rightarrow$ Val

La fonction Out permet d'écrire Val au sommet de la pile, Elle renvoie par ailleurs cette même valeur.

1.10.2 Philosophie et choix de design

Définir la sémantique opérationnelle ne se limite pas à formaliser des concepts génériques comme présenté dans le précédent chapitre. Il faut souvent choisir entre plusieurs alternatives et ces choix étendent ou limitent les possibilités du langage.

Afin de garantir une certaine cohérence dans tout cela, nous avons choisi de tenir une certaine ligne de conduite justifiée ici.

Tout d'abord deux observations : premièrement le langage *SLIP* n'est pas destiné à être utilisé directement par le programmeur puisque nous allons définir une syntaxe plus agréable dans une seconde partie du projet. Ensuite, dans tout langage il faut choisir un équlibre entre flexibilité et facilité de détection d'erreurs. Par exemple un programme typé dynamiquement est plus rapide à écrire mais son exécution est plus difficile à prévoir, et donc la garantie que le programme est correct est plus difficile à fournir.

Nous avons fait le choix d'avoir un langage qui n'essaie pas de deviner ce que le programmeur voulait faire, et reporte les erreurs dès que possible.

Ainsi, c'est au programmeur de s'assurer qu'il n'y a pas de divisions par zéro. Il nous semble plus important que le programme s'arrête en indiquant l'erreur, plutôt que de poursuivre en faisant des approximations, en ne prévenant pas le programmeur de la non exactitude des résultats obtenus.

1.10.3 Fonctions sémantiques

Conditions B : Cond $\rightarrow$ Env $\rightarrow$ Store $\rightarrow \{true, false, error\}$

B[expr1 cop expr2] e s
$v_1 = V$[expr1] e s
$v_2 = V$[expr2] e s
ξ[cop] v_1 v_2 = ξ_1 v_1 v_2 si cop=$'<'$
ξ[cop] v_1 v_2 = ξ_2 v_1 v_2 si cop=$'='$

ξ_1 : Val $\rightarrow$ Val $\rightarrow \{true, false, error\}$
ξ_1 v_1 v_2 = true si $v_1 < v_2$ avec $v_1, v_2 \in$ Int
ξ_1 v_1 v_2 = false si $v_1 \geq v_2$ avec $v_1, v_2 \in$ Int
ξ_1 v_1 v_2 = error sinon

ξ_2 : Val $\rightarrow$ Val $\rightarrow \{true, false, error\}$
ξ_2 v_1 v_2 = true si $v_1 = v_2$ avec $v_1, v_2 \in$ Int
ξ_2 v_1 v_2 = true si $v_1 = v_2$ avec $v_1, v_2 \in$ Ref
ξ_2 v_1 v_2 = true si $v_1, v_2 \in$ {null}

$\xi_2\ v_1\ v_2$ = false si $v_1 \neq v_2$ avec $v_1, v_2 \in$ Int
$\xi_2\ v_1\ v_2$ = false si $v_1 \neq v_2$ avec $v_1, v_2 \in$ Ref
$\xi_2\ v_1\ v_2$ = false si $v_1 \in$ {null} et $v_2 \in Ref$
$\xi_2\ v_1\ v_2$ = false si $v_1 \in$ Ref et $v_2 \in$ {null}
$\xi_2\ v_1\ v_2$ = error sinon

Cette fonction définit le comportement des conditions. Nous avons choisi une définition assez stricte ou seul des élèments de même type peuvent être comparés. Les comparaisons avec *undefined* renvoie une erreur car on ne sait pas se prononcer sur la comparaison d'élément inconnus.

Designateur

D : Des $\rightarrow$ Env $\rightarrow$ Store $\rightarrow$ Val + Ref,Int +{$error$}
$D[x] = x$ si $x \in \mathbb{X}$
$D[x] = error$ sinon
$D[x.i] =$ [Env$(x), i]$ si $x \in \mathbb{X}$ et $x \in dom$(Env) et Env$(x) \in dom$(Store) et si $< n, < v_1, v_2, ..., v_n >>=$Store$(x)$ et $i \in [0, n[$
$D[x.i] = error$ sinon
$D[this.i] = \{$Env$(this), i\}$ si Env$(this) \in dom$(store) et si $< n, < v... >>=$Store$(this)$ et $i \in [0, n[$
$D[this.i] = error$ sinon
Un désignateur renvoie la variable correspondante, ou une paire référence, indice, selon la forme du désignateur. le designateur renvoie une erreur si l'on accède à un champ d'un objet non défini, ou que l'indice est en dehors des limites de l'objet.

Expressions

V : Expr $\rightarrow$ Env $\rightarrow$ Store $\rightarrow$ Val + {error}
$V[Val] = Val$
$V[Des] = Env[D$[Des]] si D[Des] $\in dom$(Env)
$V[Des] = n$ si D[Des] $= \{ref, i\}$ et $i = 0$ et Store$(ref) = < n, < ... >>$
$V[Des] = v_i$ si D[Des] $= \{ref, i\}$ et $i \neq 0$ et Store$(ref) = < n, < v_1, ..., v_i, ..., v_n >$
$V[Des] = error$ sinon

V[Expr1 op Expr2] $= V_+[E_1 E_2]$ si op $=' +'$
V[Expr1 op Expr2] $= V_-[E_1 E_2]$ si op $=' -'$
V[Expr1 op Expr2] $= V_*[E_1 E_2]$ si op $=' *'$
V[Expr1 op Expr2] $= V_/[E_1 E_2]$ si op $=' /'$
V[Expr1 op Expr2] $= V_{\%}[E_1 E_2]$ si op $=' \%'$
V[Expr1 op Expr2] $= error$ sinon

$V_+[E_1 E_2] = V[E_1] + V[E_2]$ si $V[E_1]$ et $V[E_2] \in$ int
$V_+[E_1 E_2] = error$ sinon.

$V_-[E_1 E_2] = V[E_1] - V[E_2]$ si $V[E_1]$ et $V[E_2] \in$ int
$V_-[E_1 E_2] = error$ sinon.

$V_*[E_1 E_2] = V[E_1] * V[E_2]$ si $V[E_1]$ et $V[E_2] \in$ int
$V_*[E_1 E_2] = error$ sinon.

$V_/[E_1 E_2] = V[E_1]/V[E_2]$ si $V[E_1]$ et $V[E_2] \in$ int, et que $V[E_2] \neq 0$
$V_/[E_1 E_2] = error$ sinon.

$V_{\%}[E_1 E_2] = V[E_1]\%V[E_2]$ si $V[E_1]$ et $V[E_2] \in$ int et que $V[E_2] \neq 0$
$V_{\%}[E_1 E_2] = error$ sinon.

Il est bon de noter qu'aucun dépassement des bornes n'est possible, et ce car l'ensemble des valeurs comprend tout l'ensemble des naturels (Cela sera implémenté en java grâce à la classe BigInteger, mais il n'est pas encore temps d'y penser ;-))

Affectations

A : Ass $\rightarrow$ Env $\rightarrow$ Store $\rightarrow$ Env,Store + {$error$}
$A[[des := expr]]es = A1[[des]][[expr]]es$
$A[[x := new/i]]es = A2[[x]][[i]]es$
Sinon $error$
$A1$:Des$\rightarrow$Expr$\rightarrow$Env$\rightarrow$Store$\rightarrow$ NewEnv,NewStore + {$error$}
Si $Env[D$[Des]] $\in undefined$ et V[Expr] $\neq error$ alors NewEnv = Env $\bigoplus D$[Des] $\rightarrow V$[Exp] et NewStore = Store

Si $Env[D$[Des]] $\in$ Int et V[Expr] $\in$ Int alors NewEnv = Env $\bigoplus D$[Des] $\rightarrow V$[Exp] et NewStore = Store

Si D[Des] $= \{ref, i\} \in$ {Ref, Int} et $< n, < ..., v_i, ... >= Store[ref]$ et $i \neq 0$ et $v_i \in undef$ et V[Expr] $\neq error$ alors NewEnv = Env et NewStore = Store $\bigoplus ref \rightarrow < n, < ...v_{i-1}, V$[Expr], $v_{i+1}... >>$

Si D[Des] $= \{ref, i\} \in$ {Ref, Int} et $< n, < ..., v_i, ... >= Store[ref]$ et $i \neq 0$ et $v_i \in$Int et V[Expr] $\in$Int alors NewEnv = Env et NewStore = Store $\bigoplus ref \rightarrow < n, < ...v_{i-1}, V$[Expr], $v_{i+1}... >>$

Si D[Des] $= \{ref, i\} \in$ {Ref, Int} et $< n, < ..., v_i, ... >= Store[ref]$ et $i \neq 0$ et $v_i \in$Ref + $\{null\}$ et V[Expr] $\in$Ref + $\{null\}$ alors NewEnv = Env et NewStore = Store $\bigoplus ref \rightarrow < n, < ...v_{i-1}, V$[Expr], $v_{i+1}... >>$

$A2$:X$\rightarrow$Int$\rightarrow$Env$\rightarrow$Store$\rightarrow$ NewEnv,NewStore + {$error$}
Si Env[x] $\in Ref + undefined$ et $i > 0$ et $r \in Ref$ et $r \notin dom(Store)$ alors NewEnv = Env $\bigoplus x \rightarrow r$ et NewStore = Store $\bigoplus r \rightarrow < i, < v_0, ..., v_j, ..., v_i >> | \forall (j) v_j = undefined$
$error$ sinon

L'opérateur $\bigoplus$ désignant la surimpression fonctionnelle, c'est à dire que pour une fonction $f : x \rightarrow y$, la surimpression par un couple $a \rightarrow b$, signifie que $f(x) = y$ pour $x \neq a$ et $f(x) = b$ pour $x = a$

L'affectation force le respect des types. Il n'est pas possible d'assigner une référence à une variable qui était précédement un entier, et inversément. Comme il n'y a pas d'instruction permettant de savoir quel est le type d'une variable il nous a semblé plus raisonnable d'imposer le respect des types afin que le programmeur puisse savoir à tout moment de quel type est chaque variable.

Il n'est pas non plus possible de modifier la taille d'un objet, et lorsque ceux-ci sont instanciés, tous leur champs sauf celui à zéro sont mis à *undefined*.

In/Out L'input est représenté par une pile de valeurs entières sur laquelle le programme lit ses entrées. In = $< val \in$Int, <In>>
$I : in \rightarrow Env \rightarrow In \rightarrow In, Env + error$
Si $in = readx$ et $x \in X$ et $Env(x) \in Int + undefined$ et $In =< val, < In2 >>$ alors $NewIn = In2$ et $NewEnv = Env \bigoplus x \rightarrow val$
$error$ sinon

De manière similaire l'output est représenté par une pile de valeur entière sur laquelle le programme lit ses entrées. Out = $< val \in$char*<Out>>
$O : out \rightarrow Env \rightarrow Out \rightarrow NewOut$
Si $out = writex$ et $x \in dom(Env)$ et $Env(x) \in Int$ NewOut = $< tochar(Env(x)), < Out >>$
Si $out = writex$ et $x \in dom(Env)$ et $Env(x) \in Ref$ NewOut = <"ref :"+$tochar(Env(x)), < Out >>$
Si $out = writex$ et $x \in dom(Env)$ et $Env(x) \in undefined$ NewOut = <"undefined", $< Out >>$

La fonction *tochar(x)* prend un *int* ou une référence en paramètre et la convertis en une séquence de caractère. Dans le cas d'une référence, ce qui est imprimé dépend de l'implémentation et n'a pas de garantie d'être constant entre les plateformes ou exécutions successives (de la même façon qu'en pointeur en C).

1.10.4 Relations de transition

Conditions $< e, l, s, P, in, out >\rightarrow l$ if cond then $l1$ else $l2 \rightarrow < e, l', s, P, in, out >$
$l' = l1$ si B[cond] $= true$
$l' = l2$ si B[cond] $= false$
si B[cond] $= error$ alors le programme s'arrête en affichant un message d'erreur.

Affectations $< e, l, s, P, in, out >\rightarrow l$ ass $l' \rightarrow < e', l', s', P, in, out >$
$(e', s') =$ A[[ass]]$e\ s$
si A[[ass]]$es = error$ alors le programme s'arrête en affichant un message d'erreur.

Entrée/Sortie $< e, l, s, P, in, out >\rightarrow l$ read x $l' \rightarrow < e', l', s, P, in', out >$
$in', e' =$ I[[read x]] $e\ in$
si I[[read x]] $ein = error$ alors le programme s'arrête en affichant un message d'erreur.
$< e, l, s, P, in, out >\rightarrow l$ write x $l' \rightarrow < e, l', s, P, in, out' >$
$out' =$O[[write x]] $e\ out$ si O[[write x]] $= error$ alors le programme s'arrête en affichant un message d'erreur. e' et s' sont les valeurs renvoiée par la fonction d'affectation.

appels de méthodes statiques $< e, l, s, P, in, out >\rightarrow x = m(x_1, ..., x_n) \rightarrow < e', l', s, P', in, out >$
$e' = x_i \rightarrow V[x_i]$ soit l'ensemble des paramètres associés à leur valeur d'appel.
l' est le label de la première instruction de la méthode m.
$P' = < lex < P >>$ Soit la pile P à laquelle on ajoute le label l,l'environnement e, et la variable de retour x
La méthode est connue et choisie grâce à la réference m

appels de méthodes dynamique $< e, l, s, P, in, out >\rightarrow x = y.m(x_1, ..., x_n) \rightarrow < e', l', s, P', in, out >$
$e' = x_i \rightarrow V[x_i] \bigoplus this \rightarrow Env(y)$ soit l'ensemble des paramètres associés à leur valeur d'appel auquel on ajoute la définition du this.
l' est le label de la première instruction de la méthode m/i ou i est l'entier le plus grand qui soit plus petit ou égal à n défini par $< n, < ... >>= Store(Env(y))$
$P' = < lex < P >>$ Soit la pile P à laquelle on ajoute le label l,l'environnement e, et la variable de retour x
La méthode est connue et choisie grâce à la réference m

appels vers super $< e, l, s, P, in, out >\rightarrow x = super.m(x_1, ..., x_n) \rightarrow < e', l', s, P', in, out >$
$e' = x_i \rightarrow V[x_i] \bigoplus this \rightarrow Env(y)$ soit l'ensemble des paramètres associés à leur valeur d'appel auquel on ajoute la définition du this.
l' est le label de la première instruction de la méthode m/i ou i est l'entier le plus grand qui strictement plus petit que n défini par $< n, < ... >>= Store(Env)$
$P' = < lex < P >>$ Soit la pile P à laquelle on ajoute le label l,l'environnement e, et la variable de retour x

retour de fonction $< e, l, s, P, in, out >\rightarrow x_r \rightarrow < e', l', s, P', in, out >$
$P =< l', e'', x, P' >$
$e' = e'' \bigoplus x \rightarrow e(x_r)$
C'est a dire qu'on remplace l'environnement par celui qui était sur la pile, dans lequel on change la variable de retour par la valeur de retour, et l'on change le label par le label de retour.

démarrage du programme le programme démarre au début de la fonction 'main' sans paramètres, avec une pile,un environnement et un store vide. C'est à dire :
$< e, l, s, P, in, out >\rightarrow main()$
$e = \{\}$
$P = \{\}$
$s = \{\}$

Chapitre 2

Mode d'emploi du compilateur

La version exécutable du compilateur et interpréteur Happy se trouve dans le jar exécutable *happy.jar*. Il prend 2 arguments obligatoire : la grammaire au format BNF et le programme en langage Happy. On peut rajouter *check* à la fin pour vérifier la grammaire en plus. Pour faire fonctionner les programmes Happy, il faut passer la grammaire *temp.bnf*. Pour vérifier n'importe quelle grammaire WP, il faut indiquer la grammaire un fichier programme bidon et enfin check. exemple :

```
java -jar happy.jar temp.bnf programme1.happy
java -jar happy.jar temp.bnf programme1.happy check
```

L'interpréteur sort les informations suivantes dans cet ordre, si le check de la grammaire est demandé, le résultat des tests et la table de précédence. Ensuite l'arbre sortit par le parser syntaxique après sa restructuration, ensuite la traduction de l'arbre en SLIP et puis (mais il semble que les retour à la ligne ne soit pas conforme ce qui donne des résultats étranges à la sortie dans le shell) la représentation en code interne SLIP. Et finalement la sortie du programme interprèté.

2.1 Les erreurs

Lorsqu'une erreur arrive dans n'importe quelle partie du compilateur l'erreur est affichée (avec plus ou moins de précision) et il s'arrête ensuite.

2.2 Les erreurs du vérificateur

Le vérificateur de grammaire WP évalue les critères les uns après les autres et s'arrête dès qu'un critère n'est pas respecté, en indiquant à la console l'endroit où cela coince de manière assez explicite.

2.3 Les erreurs du parser lexical

Il ne vérifie que deux choses. A la fin de l'analyse si il n'y a pas le même nombre de paranthèse ouvrantes que fermantes, l'erreur *Unexpected end*. Il est aussi capable de vérifier si à tout moment il y a trop de paranthèse fermantes, le messages est dès lors très explicite : *Too much)* .

2.4 Les erreurs de l'analyseur syntaxique

L'analyseur syntaxique signale trois erreurs. Lorsque deux termes ne peuvent se retrouver côte à côte, lorsqu'il n'arrive pas à trouver une règle pour réduire.

Et lorsqu'il a lu tout les caractères, si il reste plus d'un élément dans la pile une erreur est aussi renvoyé.

2.5 Les erreurs du traducteur

Les erreurs que renvoient le traducteur sont d'ordre sémantique. Le programme est valide syntaxiquement mais comme notre grammaire permet beaucoup de chose, Il faut remettre les choses en places avec le traducteur. Les erreurs sont du type : quelquechose est attendu dans ce type d'expr et là c'est pas le cas. exemple : textitExpected id after a set

2.6 Les erreurs de l'interpréteur

L'interpréteur reporte les erreurs d'exécutions telles que la division par 0, l'appel à méthode inconnue etc... Les erreurs sont clairement identifié dans le code interne structurée et reporté jusqu'au dessus de la pile d'exécution. Cela permet de retracer l'erreur sans trop de difficulté. Voici un exemple :

```
Error divide by 0
 in Cexpr a#1 / b#2
 at Ass A_0#3 := a#1 / b#2
 at CmdStmt [ lab9 : A_0#3 := a#1 / b#2 ; go to lab8]
 at divide/-1
 at Call divide
 at CmdStmt [ lab2 : A_0#3 := divide(#4, #5) ; go to lab1]
 at main/-1
```

2.7 Exemples de programmes

Voici un programme triant une liste avec l'algorithme quicksort.

```
        [Ce programme montre un exemple
        de quick sort avec une générère avec
        une fonction "pseudo alétoire"]
(
        (fun (# val) (
                (set n (new 2))
                (set n.1 val)
                (set n.2 null)
                (return n)
        ))

        [@param N une liste
         @post imprime la liste ]

        (fun (Print N)(
                (if (! (= N null)) (
                        (write N.1)
                        (Print N.2)
                ))
        ))
        (method.2 (print) (Print this))

        [Ajoute la valeur val à la liste N2]

        (fun (#> Val N2)
                (return (-> (# Val) N2))
        )

        [ajoute N2 à la suite du noeud N1]

        (fun (-> N1 N2) (
                (set N1.2 N2)
                (return N1)
        ))

        [Met la liste L2 après L1]
        (fun (Join L1 L2) (
                (if (= L1 null) (return L2) )
                (set R L1)
                (set Temp L1.2)
                (while (!(= Temp null)) (

                        (set L1 L1.2)
                        (set Temp L1.2)
                ))
                (set L1.2 L2)
```

```
        (return R)
    ))

    [Renvoie une copie de la liste L triée]
    (fun (Qsort L) (
        (if (= L null) (return null))
        (if (= L.2 null) (return L))

        (set Pivot L.1)
        (set L L.2)
        (set L1 null)
        (set L2 null)
        (while (!(= L null)) (
              (if (<= L.1 Pivot)
                        (set L1 (#> L.1 L1))
                        (set L2 (#> L.1 L2))
                )
                (set L L.2)
        ))
        (return (Join (Qsort L1) (Join (# Pivot) (Qsort L2 ))))
    ))

    [Lit un nombre en entrée et trie une liste de cette longueur]
    (fun (main) (
        (set i (read))
        (set List (# 2))
        (set seed 8)
        (while (> i 0) (
                (set seed (random 429496726 seed))
                (set List (#> seed List))
                (set i (- i 1))
        ))
        (set List (Qsort List))
        (List.print)
    ))

    [Fonction pseudo random
     @param max : le nombre max
     @param seed : la graine de départ]

    (fun (random max seed)
        (return (% (+ 1013904223 (* 1664525 seed)) max))
    )
)
```

2.7.1 Traduction en langage abstrait structuré

```
#(val)
```

```
{
  A_0 = new/2 ;
  n = A_0 ;
  A_1 = n ;
  n.1 = val ;
  A_2 = n.1 ;
  n.2 = null ;
  A_3 = n.2 ;
  return (n) ;
  A_4 = 0 ;
}

Print(N)
{
  A_0 = null ;
  if (!(N == A_0))
    {
      A_1 = N.1 ;
      write(A_1) ;
      A_2 = N.2 ;
      A_3 = Print(A_2) ;
      A_4 = 0 ;
    }
  A_5 = 0 ;
  A_6 = 0 ;
}

print/2()
{
  A_0 = this ;
  A_1 = Print(A_0) ;
}

#>(Val, N2)
{
  A_0 = #(Val) ;
  A_1 = ->(A_0, N2) ;
  return (A_1) ;
}

->(N1, N2)
{
  N1.2 = N2 ;
  A_0 = N1.2 ;
  return (N1) ;
  A_1 = 0 ;
}

Join(L1, L2)
```

```
{
  A_0 = null ;
  if (L1 == A_0)
    {
      return (L2) ;
    }
  A_1 = 0 ;
  R = L1 ;
  A_2 = R ;
  Temp = L1.2 ;
  A_3 = Temp ;
  A_4 = null ;
  while (!(Temp == A_4))
    {
      L1 = L1.2 ;
      A_5 = L1 ;
      Temp = L1.2 ;
      A_6 = Temp ;
      A_7 = 0 ;
    }
  A_8 = 0 ;
  L1.2 = L2 ;
  A_9 = L1.2 ;
  return (R) ;
  A_10 = 0 ;
}

Qsort(L)
{
  A_0 = null ;
  if (L == A_0)
    {
      A_1 = null ;
      return (A_1) ;
    }
  A_2 = 0 ;
  A_3 = L.2 ;
  A_4 = null ;
  if (A_3 == A_4)
    {
      return (L) ;
    }
  A_5 = 0 ;
  Pivot = L.1 ;
  A_6 = Pivot ;
  L = L.2 ;
  A_7 = L ;
  L1 = null ;
  A_8 = L1 ;
```

```
  L2 = null ;
  A_9 = L2 ;
  A_10 = null ;
  while (!(L == A_10))
    {
      A_11 = L.1 ;
      if (A_11 <= Pivot)
        {
          A_12 = L.1 ;
          A_13 = #>(A_12, L1) ;
          L1 = A_13 ;
          A_14 = L1 ;
        }
      else
        {
          A_15 = L.1 ;
          A_16 = #>(A_15, L2) ;
          L2 = A_16 ;
          A_17 = L2 ;
        }
      A_18 = 0 ;
      L = L.2 ;
      A_19 = L ;
      A_20 = 0 ;
    }
  A_21 = 0 ;
  A_22 = Qsort(L1) ;
  A_23 = #(Pivot) ;
  A_24 = Qsort(L2) ;
  A_25 = Join(A_23, A_24) ;
  A_26 = Join(A_22, A_25) ;
  return (A_26) ;
  A_27 = 0 ;
}

main()
{
  read(A_0) ;
  i = A_0 ;
  A_1 = i ;
  A_2 = 2 ;
  A_3 = #(A_2) ;
  List = A_3 ;
  A_4 = List ;
  seed = 8 ;
  A_5 = seed ;
  A_6 = 0 ;
  while (i > A_6)
    {
```

```
      A_7 = 429496726 ;
      A_8 = random(A_7, seed) ;
      seed = A_8 ;
      A_9 = seed ;
      A_10 = #>(seed, List) ;
      List = A_10 ;
      A_11 = List ;
      A_12 = 1 ;
      A_13 = (i - A_12) ;
      i = A_13 ;
      A_14 = i ;
      A_15 = 0 ;
    }
  A_16 = 0 ;
  A_17 = Qsort(List) ;
  List = A_17 ;
  A_18 = List ;
  A_19 = List.print() ;
  A_20 = 0 ;
}

random(max, seed)
{
  A_0 = 1013904223 ;
  A_1 = 1664525 ;
  A_2 = (A_1 * seed) ;
  A_3 = (A_0 + A_2) ;
  A_4 = (A_3 % max) ;
  return (A_4) ;
}
```

2.7.2 Code Interne

```
method #(val)
{ lab10
  [ lab10 : A_0#3 := new/2 ; go to lab9]
  [ lab9 : n#2 := A_0#3 ; go to lab8]
  [ lab8 : A_1#4 := n#2 ; go to lab7]
  [ lab7 : n#2.1 := val#1 ; go to lab6]
  [ lab6 : A_2#6 := n#2.1 ; go to lab5]
  [ lab5 : n#2.2 := null ; go to lab4]
  [ lab4 : A_3#8 := n#2.2 ; go to lab3]
  [ lab3 : result#0 := n#2 ; go to lab1]
} lab1 result#0
end of method #.

method Print(N)
{ lab21
  [ lab21 : A_0#2 := null ; go to lab20]
  [ lab20 : if N#1 == A_0#2 then go to lab13 else go to lab19]
  [ lab13 : A_5#7 := 0 ; go to lab12]
  [ lab12 : A_6#8 := 0 ; go to lab11]
  [ lab19 : A_1#3 := N#1.1 ; go to lab18]
  [ lab18 : write(A_1#3) ; go to lab17]
  [ lab17 : A_2#4 := N#1.2 ; go to lab16]
  [ lab16 : #9 := A_2#4 ; go to lab15]
  [ lab15 : A_3#5 := Print(#9) ; go to lab14]
  [ lab14 : A_4#6 := 0 ; go to lab13]
} lab11 result#0
end of method Print.

method print/2()
```

```
{ lab25
  [ lab25 : A_0#1 := this ; go to lab24]
  [ lab24 : #3 := A_0#1 ; go to lab23]
  [ lab23 : A_1#2 := Print(#3) ; go to lab22]
} lab22 result#0
end of method print.

method #>(Val, N2)
{ lab32
  [ lab32 : #5 := Val#1 ; go to lab31]
  [ lab31 : A_0#3 := #(#5) ; go to lab30]
  [ lab30 : #5 := A_0#3 ; go to lab29]
  [ lab29 : #6 := N2#2 ; go to lab28]
  [ lab28 : A_1#4 := ->(#5, #6) ; go to lab27]
  [ lab27 : result#0 := A_1#4 ; go to lab26]
} lab26 result#0
end of method #>.

method ->(N1, N2)
{ lab37
  [ lab37 : N1#1.2 := N2#2 ; go to lab36]
  [ lab36 : A_0#4 := N1#1.2 ; go to lab35]
  [ lab35 : result#0 := N1#1 ; go to lab33]
} lab33 result#0
end of method ->.

method Join(L1, L2)
{ lab59
  [ lab59 : A_0#3 := null ; go to lab58]
  [ lab58 : if L1#1 == A_0#3 then go to lab57 else go to lab56]
  [ lab57 : result#0 := L2#2 ; go to lab38]
  [ lab56 : A_1#4 := 0 ; go to lab55]
  [ lab55 : R#5 := L1#1 ; go to lab54]
  [ lab54 : A_2#6 := R#5 ; go to lab53]
  [ lab53 : Temp#7 := L1#1.2 ; go to lab52]
  [ lab52 : A_3#8 := Temp#7 ; go to lab51]
  [ lab51 : A_4#9 := null ; go to lab45]
  [ lab45 : if Temp#7 == A_4#9 then go to lab43 else go to lab44]
  [ lab43 : A_8#13 := 0 ; go to lab42]
  [ lab42 : L1#1.2 := L2#2 ; go to lab41]
  [ lab41 : A_9#15 := L1#1.2 ; go to lab40]
  [ lab40 : result#0 := R#5 ; go to lab38]
  [ lab44 : skip ; go to lab50]
  [ lab50 : L1#1 := L1#1.2 ; go to lab49]
  [ lab49 : A_5#10 := L1#1 ; go to lab48]
  [ lab48 : Temp#7 := L1#1.2 ; go to lab47]
  [ lab47 : A_6#11 := Temp#7 ; go to lab46]
  [ lab46 : A_7#12 := 0 ; go to lab45]
} lab38 result#0
end of method Join.

method Qsort(L)
{ lab114
  [ lab114 : A_0#2 := null ; go to lab113]
  [ lab113 : if L#1 == A_0#2 then go to lab112 else go to lab110]
  [ lab112 : A_1#3 := null ; go to lab111]
  [ lab111 : result#0 := A_1#3 ; go to lab60]
  [ lab110 : A_2#4 := 0 ; go to lab109]
  [ lab109 : A_3#5 := L#1.2 ; go to lab108]
  [ lab108 : A_4#6 := null ; go to lab107]
  [ lab107 : if A_3#5 == A_4#6 then go to lab106 else go to lab105]
  [ lab106 : result#0 := L#1 ; go to lab60]
  [ lab105 : A_5#7 := 0 ; go to lab104]
  [ lab104 : Pivot#8 := L#1.1 ; go to lab103]
  [ lab103 : A_6#9 := Pivot#8 ; go to lab102]
  [ lab102 : L#1 := L#1.2 ; go to lab101]
  [ lab101 : A_7#10 := L#1 ; go to lab100]
  [ lab100 : L1#11 := null ; go to lab99]
  [ lab99 : A_8#12 := L1#11 ; go to lab98]
  [ lab98 : L2#13 := null ; go to lab97]
  [ lab97 : A_9#14 := L2#13 ; go to lab96]
  [ lab96 : A_10#15 := null ; go to lab77]
  [ lab77 : if L#1 == A_10#15 then go to lab75 else go to lab76]
  [ lab75 : A_21#26 := 0 ; go to lab74]
  [ lab74 : #33 := L1#11 ; go to lab73]
  [ lab73 : A_22#27 := Qsort(#33) ; go to lab72]
  [ lab72 : #33 := Pivot#8 ; go to lab71]
  [ lab71 : A_23#28 := #(#33) ; go to lab70]
  [ lab70 : #33 := L2#13 ; go to lab69]
  [ lab69 : A_24#29 := Qsort(#33) ; go to lab68]
  [ lab68 : #33 := A_23#28 ; go to lab67]
  [ lab67 : #34 := A_24#29 ; go to lab66]
  [ lab66 : A_25#30 := Join(#33, #34) ; go to lab65]
  [ lab65 : #33 := A_22#27 ; go to lab64]
```

```
  [ lab64 : #34 := A_25#30 ; go to lab63]
  [ lab63 : A_26#31 := Join(#33, #34) ; go to lab62]
  [ lab62 : result#0 := A_26#31 ; go to lab60]
  [ lab76 : skip ; go to lab95]
  [ lab95 : A_11#16 := L#1.1 ; go to lab94]
  [ lab94 : if Pivot#8 < A_11#16 then go to lab87 else go to lab93]
  [ lab87 : A_15#20 := L#1.1 ; go to lab86]
  [ lab86 : #33 := A_15#20 ; go to lab85]
  [ lab85 : #34 := L2#13 ; go to lab84]
  [ lab84 : A_16#21 := #>(#33, #34) ; go to lab83]
  [ lab83 : L2#13 := A_16#21 ; go to lab82]
  [ lab82 : A_17#22 := L2#13 ; go to lab81]
  [ lab81 : A_18#23 := 0 ; go to lab80]
  [ lab80 : L#1 := L#1.2 ; go to lab79]
  [ lab79 : A_19#24 := L#1 ; go to lab78]
  [ lab78 : A_20#25 := 0 ; go to lab77]
  [ lab93 : A_12#17 := L#1.1 ; go to lab92]
  [ lab92 : #33 := A_12#17 ; go to lab91]
  [ lab91 : #34 := L1#11 ; go to lab90]
  [ lab90 : A_13#18 := #>(#33, #34) ; go to lab89]
  [ lab89 : L1#11 := A_13#18 ; go to lab88]
  [ lab88 : A_14#19 := L1#11 ; go to lab81]
} lab60 result#0
end of method Qsort.

method main()
{ lab151
  [ lab151 : read(A_0#2) ; go to lab150]
  [ lab150 : i#1 := A_0#2 ; go to lab149]
  [ lab149 : A_1#3 := i#1 ; go to lab148]
  [ lab148 : A_2#5 := 2 ; go to lab147]
  [ lab147 : #25 := A_2#5 ; go to lab146]
  [ lab146 : A_3#6 := #(#25) ; go to lab145]
  [ lab145 : List#4 := A_3#6 ; go to lab144]
  [ lab144 : A_4#7 := List#4 ; go to lab143]
  [ lab143 : seed#8 := 8 ; go to lab142]
  [ lab142 : A_5#9 := seed#8 ; go to lab141]
  [ lab141 : A_6#10 := 0 ; go to lab124]
  [ lab124 : if A_6#10 < i#1 then go to lab123 else go to lab122]
  [ lab123 : skip ; go to lab140]
  [ lab140 : A_7#11 := 429496726 ; go to lab139]
  [ lab139 : #25 := A_7#11 ; go to lab138]
  [ lab138 : #26 := seed#8 ; go to lab137]
  [ lab137 : A_8#12 := random(#25, #26) ; go to lab136]
  [ lab136 : seed#8 := A_8#12 ; go to lab135]
  [ lab135 : A_9#13 := seed#8 ; go to lab134]
  [ lab134 : #25 := seed#8 ; go to lab133]
  [ lab133 : #26 := List#4 ; go to lab132]
  [ lab132 : A_10#14 := #>(#25, #26) ; go to lab131]
  [ lab131 : List#4 := A_10#14 ; go to lab130]
  [ lab130 : A_11#15 := List#4 ; go to lab129]
  [ lab129 : A_12#16 := 1 ; go to lab128]
  [ lab128 : A_13#17 := i#1 - A_12#16 ; go to lab127]
  [ lab127 : i#1 := A_13#17 ; go to lab126]
  [ lab126 : A_14#18 := i#1 ; go to lab125]
  [ lab125 : A_15#19 := 0 ; go to lab124]
  [ lab122 : A_16#20 := 0 ; go to lab121]
  [ lab121 : #25 := List#4 ; go to lab120]
  [ lab120 : A_17#21 := Qsort(#25) ; go to lab119]
  [ lab119 : List#4 := A_17#21 ; go to lab118]
  [ lab118 : A_18#22 := List#4 ; go to lab117]
  [ lab117 : A_19#23 := List#4.print() ; go to lab116]
  [ lab116 : A_20#24 := 0 ; go to lab115]
} lab115 result#0
end of method main.

method random(max, seed)
{ lab158
  [ lab158 : A_0#3 := 1013904223 ; go to lab157]
  [ lab157 : A_1#4 := 1664525 ; go to lab156]
  [ lab156 : A_2#5 := A_1#4 * seed#2 ; go to lab155]
  [ lab155 : A_3#6 := A_0#3 + A_2#5 ; go to lab154]
  [ lab154 : A_4#7 := A_3#6 % max#1 ; go to lab153]
  [ lab153 : result#0 := A_4#7 ; go to lab152]
} lab152 result#0
end of method random.
```

2.7.3 Exemple d'exécution

```
10
2
```

15870471
32357778
65091998
168226971
172331438
234389844
298521463
307405643
325022690
385540813

2.8 Conclusion

Ce projet fut pour nous l'occasion de découvrir l'envers du décor des compilateurs et interpréteurs, programmes que nous utilisons quotidiennement sans jamais savoir comment ils fonctionnent réellement.

Nous avons aussi vu comment concevoir un langage de programmation, compétence indispensable pour tout ingénieur en informatique.

Ce fut aussi l'occasion de découvrir le lisp que nous ne connaissions que de réputation. Nous poursuirons très certainement l'apprentissage de ce language très élégant, et certains membres du groupes se sont même mis l'idée en tête d'en écrire un interpréteur plus complet.

Nous trouvons cependant dommage qu'il ne nous ai pas été demmandé plus tôt de réaliser l'analyseur syntaxique. En effet, réaliser celui ci n'est pas très compliqué et permet de trouver des erreurs dans la syntaxe, que nos vérificateurs n'avaient pas trouvés.

Nous trouvons aussi dommage le manque de ressources écrites sur la syntaxe WP. Tout n'était pas clair et parfois l'assistant n'était pas en mesure de nous aider. Ce projet était un défi très intéressant il est dommage que les ressources ne soient pas à sa hauteur.

Enfin nous ne pouvons ommettre que la charge de travail dépasse largement Le cadre d'un cours à 5ects. Ce qui semble d'ailleurs être un problème général des cours d'INFO. Il ne faut pas oublier qu'avec 6 cours et autant de groupes différents nous perdons beaucoup de temps à nous organiser et qu'il n'est pas facile de trouver des plages horaires qui permettent de satisfaire la présence au cours de tout le monde.

Nous somme en tout cas satisfait de notre travail et de ce projet et espérons que vous l'êtes aussi. :)