

Lexing, Parsing & Evaluation

Rémi Forax

Plan

- Intro
- Rappel
- Tatum
- Regex
- Algo LR
- Priorité
- Token erreur
- Evaluation avec une pile

Un compilateur

- Un compilateur est un programme qui prend une description en entrée et la transforme en programme en sortie
- Un compilateur est un générateur de programmes

Langages Informatique

- Deux sortes de langage informatique :
- GPL (general purpose language)
 - C, Java, Python, Perl, PHP, Ruby, etc.
- DSL (domain specific language)
 - Fichier ini
 - SQL

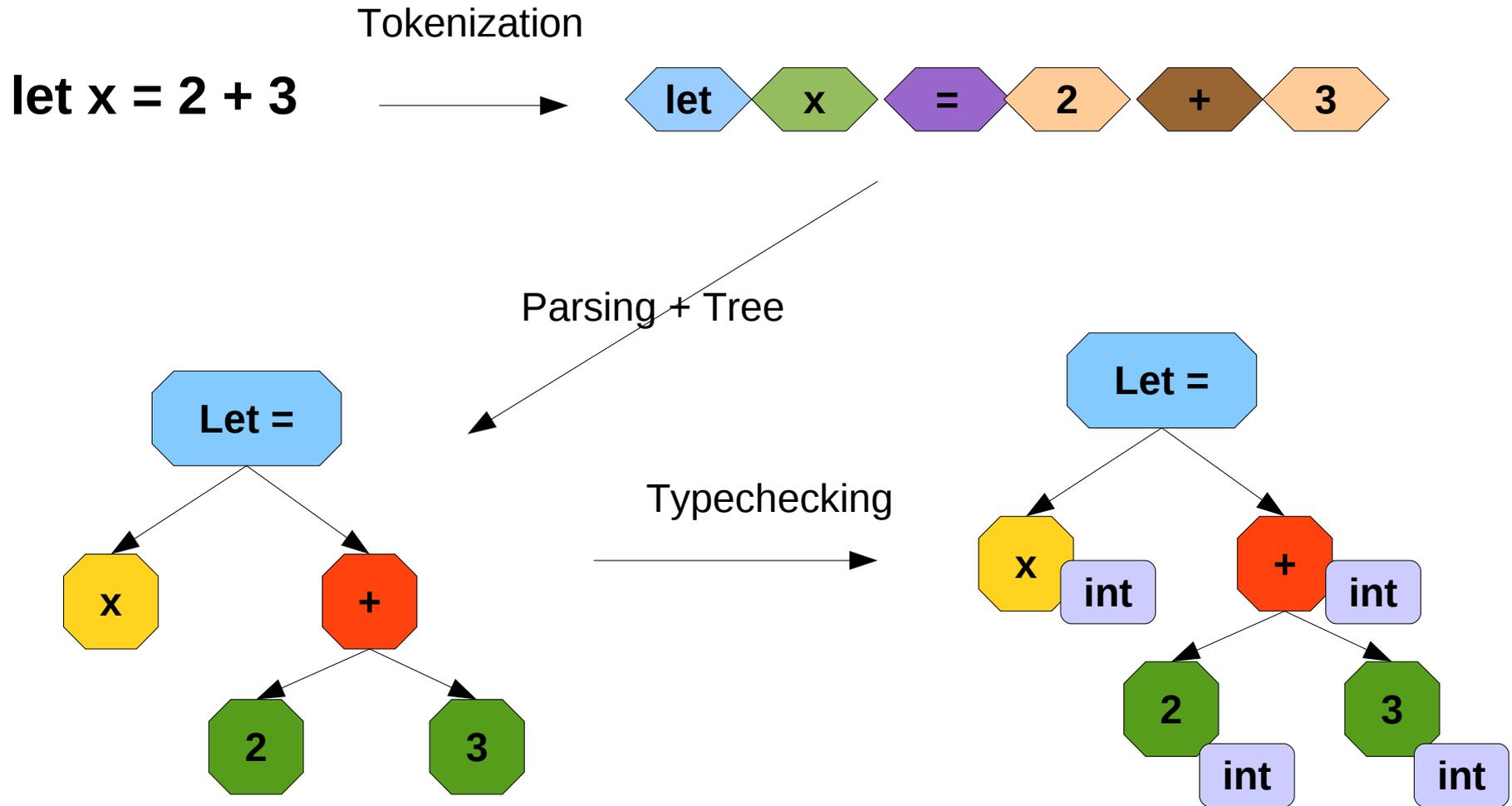
Compilateurs de Languages

- Pour les GPL, le compilateur est souvent écrit avec le GPL (après bootstrap)
Par ex: compilateur Java est écrit en Java
- Pour les DSL, le compilateur est écrit avec un GPL

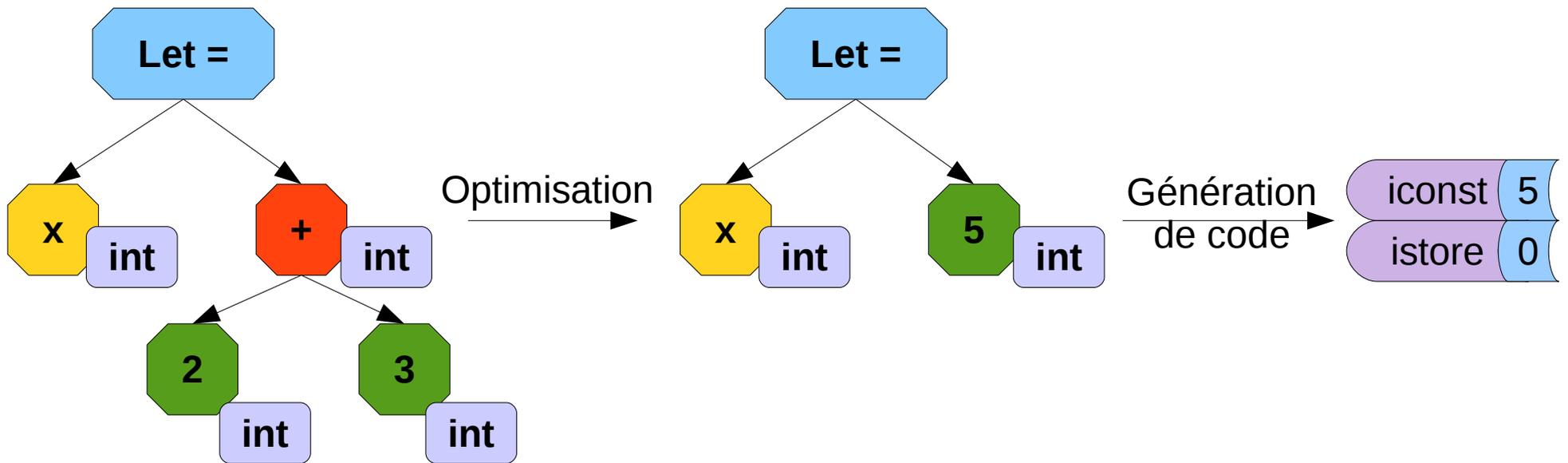
Étapes lors de la compilation

- Un compilateur suit toujours les mêmes étapes
 - **Tokenisation** (transforme un fichier en mots token)
 - **Parsing** (transforme une suite de mots en flot de shift/reduce)
 - **Construction d'arbre** (le flot de shift/reduce crée un arbre AST)
 - **Passes sémantiques** (enter, attrib(typage), flow, desugar)
 - **Génération de code** (l'AST est transformé en code)
 - Passe intermédiaire en code 3 adresses

Etapes lors de la compilation



Etapes lors de la compilation



Pourquoi étudier la compilation ?

- Savoir écrire des parseurs facilement
 - XML c'est bien mais écrire $2 + 3 * 7$ en XML, c'est lourd
- Ecrire un compilateur est le meilleur moyen de comprendre les compilateurs
- Savoir comment écrire du code, quelles sont les optimisations qui sont couramment utilisées ?

Générateur de parseur

- En C, lex/flex (lexer) et yacc/bison (parser).
- En Java, JavaCC(LL), ANTLR(LL) et JFlex/JCup(LR), SableCC(LR).
- ANTLR est le plus utilisé (de loin)
 - Backends dans plein de langages
 - Problèmes:
 - mix la grammaire et le langage cible
 - Analyse LL seulement

Tatoo

- Générateur de lexer+parseur maison
- Ecrit en Java, la version courante est la 4.2
- Utilisé en IR depuis 4 ans et depuis plus longtemps en recherche
- Séparation propre entre les différentes informations pour le lexing et le parsing
- Construction de l'AST automatique

Lexer

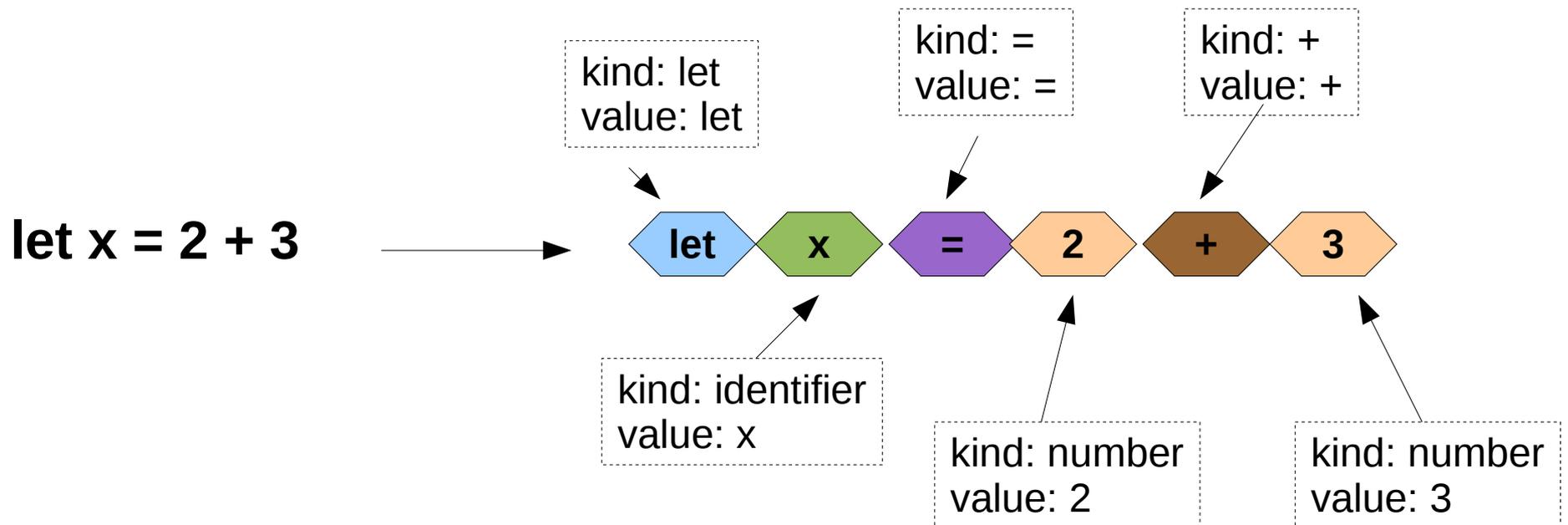
- On utilise un lexer qui à partir d'un ensemble d'expression régulière trouve quel est le token correspondant
- La tokenization fourni 2 informations par token
 - Le type du token reconnu
 - La valeur de ce token
 - la chaîne de caractère correspondant

Analyse lexical

- Simplifie l'écriture de grammaire
- Le texte est découpé en lexèmes (*tokens*)
- Le lexer supprime
 - Les espaces
 - Les commentaires
 - Les retours à la ligne (suivant le langage), etc

Tokenization

- Pour chaque *token*, l'automate qui a reconnu le motif fourni une catégorie (*kind*) et sa valeur (*value*)

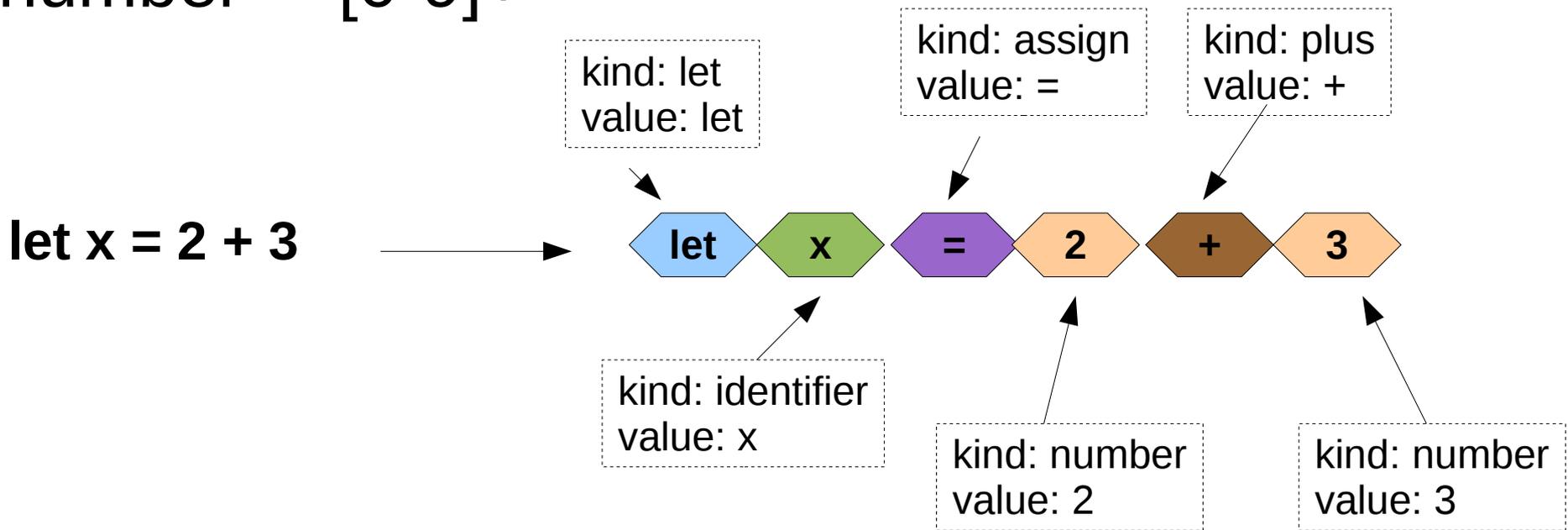


Catégories

- Catégories les + fréquentes :
 - Chaque mot-clef du langage (*keyword*)
 - Chaque symbole de ponctuation ou opérateur
 - Chaque sortes de littérales:
 - Les entiers et autres valeurs numériques
 - Les chaines de caractères
 - Les identificateurs (*identifier*), c-a-d les noms des types, des variables, des fonctions etc.

Tokenization avec Tatoon

tokens:
let = 'let' ← kind
assign = '=' ← expression rationnelle (regex)
plus = '+'
identifiant = '[A-Za-z]+'\br/>number = '[0-9]+'



Format des regex de Tatoon

- foo f suivi de o suivi de o
- [a-z] lettre entre a et z
- [^a] toute les lettres sauf a
- . n'importe quel caractère
- a|b a ou b
- a? a ou *epsilon*
- a* a répété 0 à n fois
- a+ a répété 1 à n fois
- \ | le caractère '|' (désécialisation avec \)

Exemples de regex

- Exemple de regex
 - Mot-clefs : 'if', 'for', 'return'
 - Opérateurs : '+', '-', '*'
 - Entiers : '[0-9]+|(0x[0-9A-Fa-f]+)'
 - Caractères : "'[^']'"'
 - Chaîne de caractères : "'[^"]*'"'
 - Identificateurs : [A-Za-z_][0-9A-Za-z_]*

Lexing

- Le lexer lance la reconnaissance sur tous les automates en parallèle
- Si plusieurs automates match, on continue jusqu'à ce que plus aucun ne match
 - On prend celui qui reconnaît le + long motif
 - Si 2 automates reconnaissent le motif de même longueur, on prend celui qui est déclaré en premier dans l'ordre du fichier

Tatoo a différent types de tokens

- Les tokens (**tokens:**) qui correspondent à des mot-clefs
- Les blancs (**blanks:**) qui sont des espaces qui ne seront pris en compte ni par le parseur ni par l'analyzer
- Les commentaires (**comments:**) qui seront envoyé à l'analyzer et pas pris en compte par le parseur

Exemple

- Attention, les sections doivent être déclarés dans cet ordre

tokens:

id = [A-Za-z]([0-9A-Za-z])*

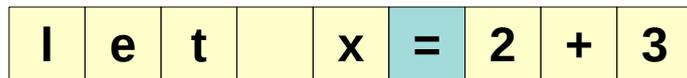
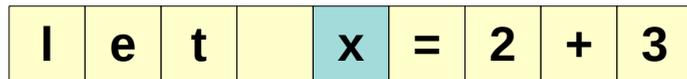
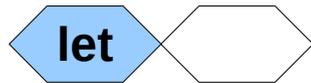
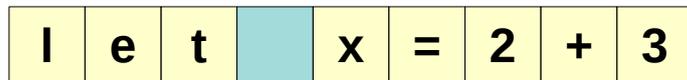
blanks:

space= "(|\t|\r|\n)+"

comments:

comment="#([\r\n])*(\r)?\n"

Lexing

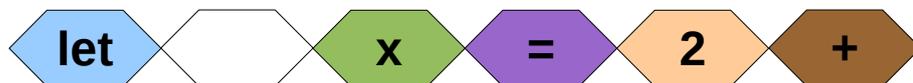


Lexing (suite)

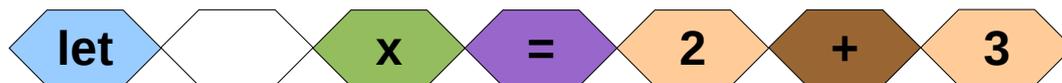
l	e	t		x	=	2	+	3
---	---	---	--	---	---	---	---	---



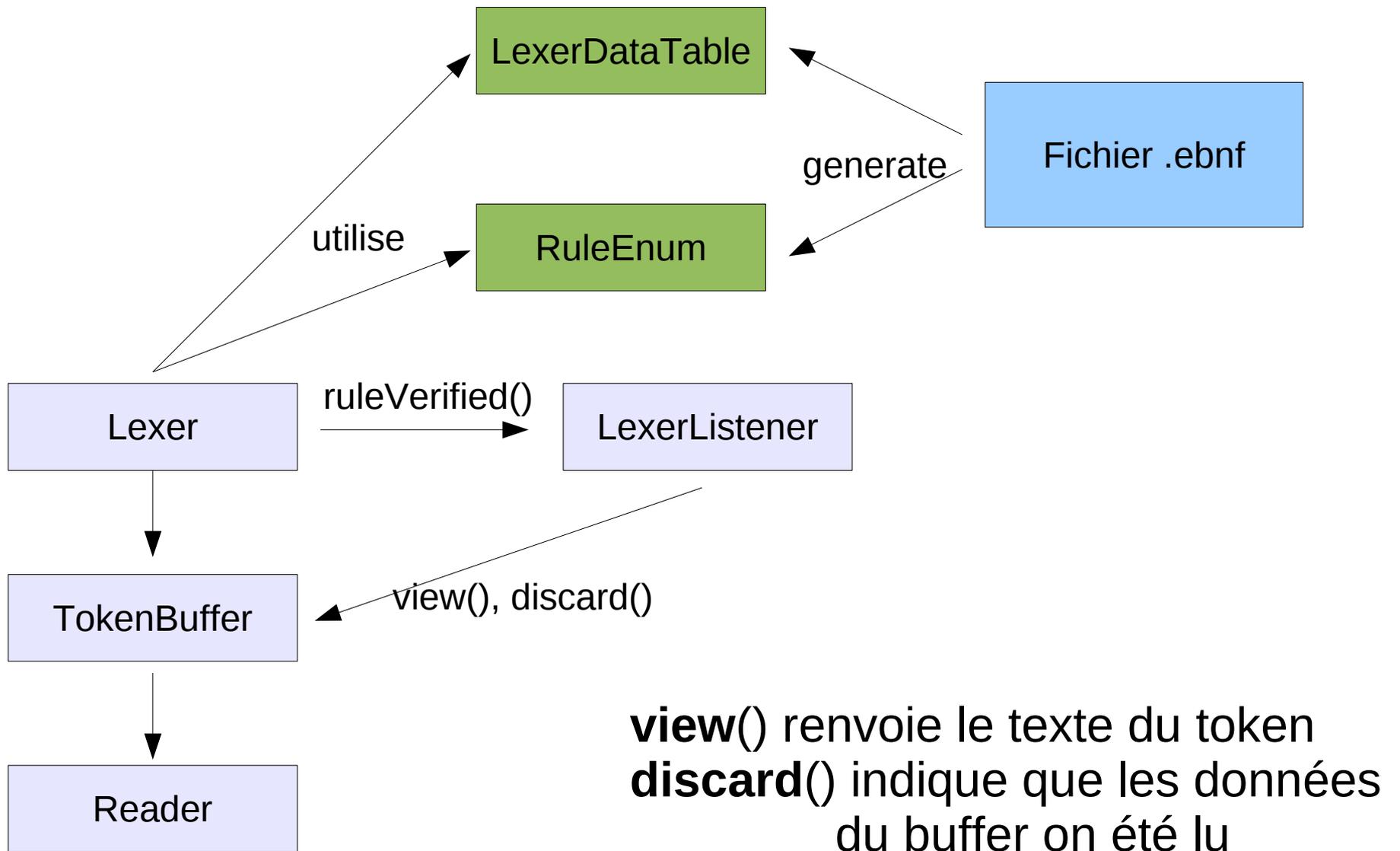
l	e	t		x	=	2	+	3
---	---	---	--	---	---	---	---	---



l	e	t		x	=	2	+	3
---	---	---	--	---	---	---	---	---



Fonctionnement du lexer de Tatoo



Lexer avec Tadoo

```
<?xml version="1.0"?>
<project name="eval" default="all" basedir=".">
  <property name="tadoo-build.dir" location="../build-lib"/>
  <property name="tadoo.jar" location="${tadoo-build.dir}/tadoo.jar"/>

  <property name="gen-src" value="gen-src"/>
  <property name="ebnf.file" value="file.ebnf"/>

  <property name="lexer.package" value="fr.uml.v.compil.file.lexer"/>

  <target name="tasks">
    <taskdef name="ebnf" classname="fr.uml.v.tadoo.cc.ebnf.main.EBNFTask"
      classpath="${tadoo.jar}"/>
  </target>

  <target name="ebnf" depends="tasks">
    <delete dir="${gen-src}"/>
    <ebnf destination="${gen-src}" ebnfFile="${ebnf.file}" parserType="lalr">
      <package lexer="${lexer.package}"/>
    </ebnf>
  </target>
```

Lexer avec Tatoon

```
Reader reader = ...
```

```
LexerListener<RuleEnum, TokenBuffer<CharSequence>> lexerListener =  
new LexerListener<RuleEnum, TokenBuffer<CharSequence>>() {  
    @Override  
    public void ruleVerified(RuleEnum rule, int tokenLength,  
                             TokenBuffer<CharSequence> buffer) {  
        System.out.println("recognize token: "+rule+" "+buffer.view());  
        buffer.discard();  
    }  
};
```

```
SimpleLexer lexer = Builder.lexer(LexerDataTable.createTable()).  
    reader(reader).  
    listener(lexerListener).  
    create();  
  
lexer.run();
```

Buffer de Tatoon

- Tatoon utilise une interface LexerBuffer pour discuter avec les flux de caractères ou d'entiers en entrée
- Cette interface permet de ne pas avoir le contenu totale d'un fichier pour effectuer le lexing.
- Seul la partie nécessaire au lexing réside dans un buffer qui s'agrandit automatiquement si nécessaire

Buffer de Tadoo

- Le ReaderWrapper est le buffer qui lit des données à partir d'un java.io.Reader

```
Reader reader = ...
LexerBuffer buffer = new ReaderWrapper(reader, null);

LexerListener<RuleEnum, TokenBuffer<CharSequence>> lexerListener =
    ...;
SimpleLexer lexer = Builder.lexer(LexerDataTable.createTable()).
    buffer(buffer).
    listener(lexerListener).
    create();

lexer.run();
```

Numéro de ligne/colonne

- Un LocationTracker permet de connaître les numéros de ligne/colonne actuelles

```
Reader reader = ...
LocationTracker tracker = new LocationTracker();
LexerBuffer buffer = new ReaderWrapper(reader, tracker);

LexerListener<RuleEnum, TokenBuffer<CharSequence>> lexerListener =
    ...;
SimpleLexer lexer = Builder.lexer(LexerDataTable.createTable()).
    buffer(buffer).
    listener(lexerListener).
    create();

try {
    lexer.run();
} catch (LexingException e) {
    System.out.println("erreur à la ligne " + tracker.getLineNumber());
}
```

Pour aller plus loin

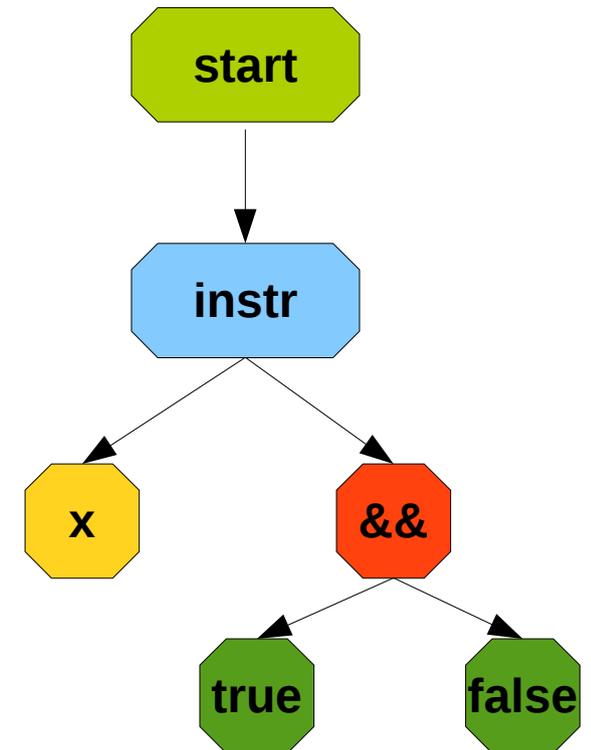
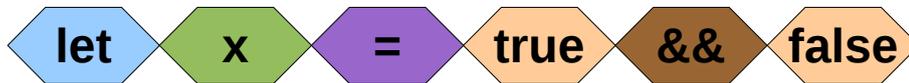
- Tatoon possède un mécanisme qui permet de restreindre les règles actives
- Si le lexer est branché sur un parseur, seuls les règles correspondants à des terminaux attendus par le parseur sont sélectionnés.
- Si il n'y a pas de parseur, toutes les règles sont sélectionnées
- Il est possible d'écrire un sélectionneur de règle en implantant l'interface RuleActivator.

Analyse syntaxique

- Le but est de vérifier qu'un flux de tokens respecte une grammaire algébrique en parcourant l'arbre syntaxique (l'arbre n'est pas forcément construit)
- Il existe plusieurs algorithmes, LL, LR, SLR, LALR. Tootoo est un parseur LR et nous utiliserons LALR.

Parsing

- On utilise un parseur LR qui transforme un flux de tokens en une suite de shift/reduce/accept
- La suite de shift/reduce/accept est alors transformé en arbre (réel ou d'appel de méthode)



Le parsing

- A partir d'une grammaire, l'analyse LR produit un automate
- Pour faire fonctionner l'automate, il faut une pile qui stocke les états de l'automate
 - lors d'un shift, on empile l'état courant
 - Lors d'un reduce, on supprime de la pile tous les états correspondant à la production réduite et on shift en utilisant la table des gotos

Grammaire

- Une grammaire est définie par un ensemble de productions
- Chaque production est de la forme
NonTerminal = (Terminal|NonTerminal)*

- **productions:**

```
expr = 'value'  
      | expr '+' expr  
      ;
```

Terminal (entre ' ')

Non-terminal (sans ")

Grammaire

- Le format de spécification de la grammaire avec Tatoon est ENBF (un peu modifié)
- 'bar' est un terminal
- baz est un non-terminal
- Avec foo un terminal ou un non terminal
 - foo? Indique une répétition 0 à 1 fois
 - foo* indique une répétition 0 à n fois
 - foo+ indique une répétition 1 à n fois
 - foo/bar* indique 0..n foo séparé par des bar
 - foo/bar+ indique 1..n foo séparé par des bar

Grammaire

- starts: indique le(s) non-terminal(aux) de départ
- productions: indique l'ensemble des productions

starts:

start

productions:

start = instr*

;

instr = 'let' 'id' '=' expr

;

expr = 'true'

| 'false'

| expr '&&' expr

;

Astuce avec Tatoon

- Les terminaux et non-terminaux utilisés par Tatoon doivent être des identificateurs valides en Java
 - donc pas le doit à if, else, true, etc
- La directive autoalias permet d'utiliser la regex comme alias pour un terminal

directives:

autoalias

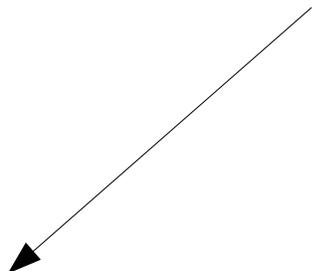
tokens:

plus = '+'

productions:

expr = expr '+' expr
;

On peut alors utiliser '+' à la place de 'plus'



Astuce avec Tatoon

- Par défaut, Tatoon requiert que les terminaux soit déclarés
- La directive autotoken déclare automatiquement les terminaux

directives:

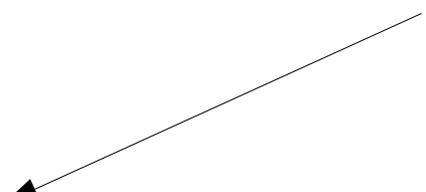
autotoken

productions:

expr = expr 'plus' expr

;

Pas besoin de déclarer le terminal plus



- Cela permet de tester des grammaires facilement

Grammaire

- Avec Tatoon, les productions sont nommés (entre accolade)
- Si un non-terminal n'a qu'une production, la production peut avoir le même nom que le non-terminal

- **productions:**

```
start = instr*           { start }
;
instr = 'let' 'id' '=' expr { instr }
;
expr = 'true'           { expr_true }
      | 'false'         { expr_false }
      | expr '&&' expr   { expr_and }
;
```

Parsing

- productions:**

start = instr* { start }

;

instr = 'let' 'id' '=' expr { instr }

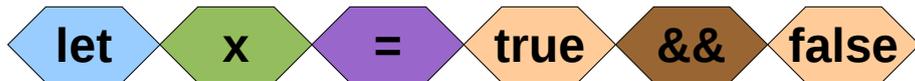
;

expr = 'true' { expr_true }

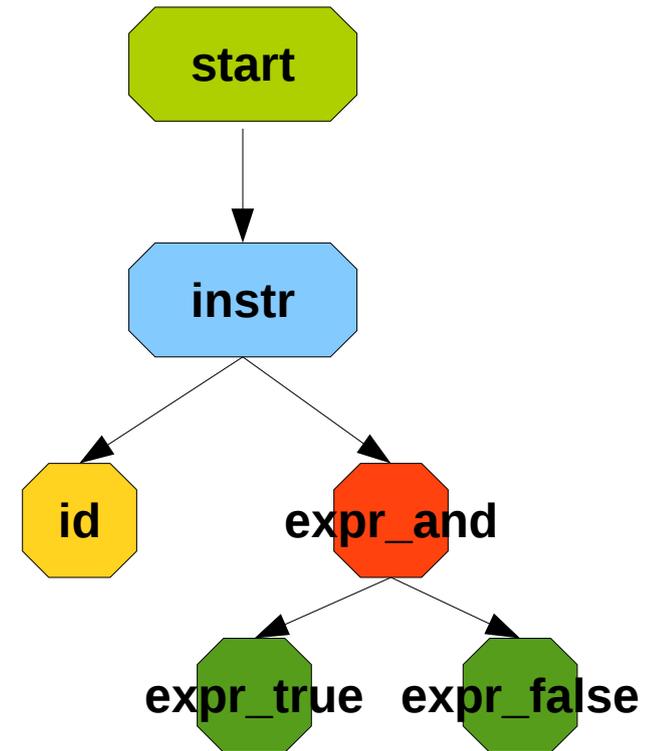
 | 'false' { expr_false }

 | expr '&&' expr { expr_and }

;



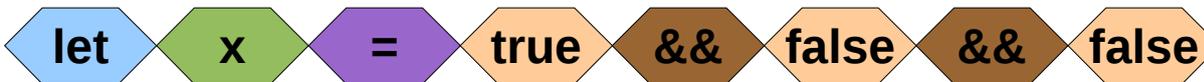
parsing →

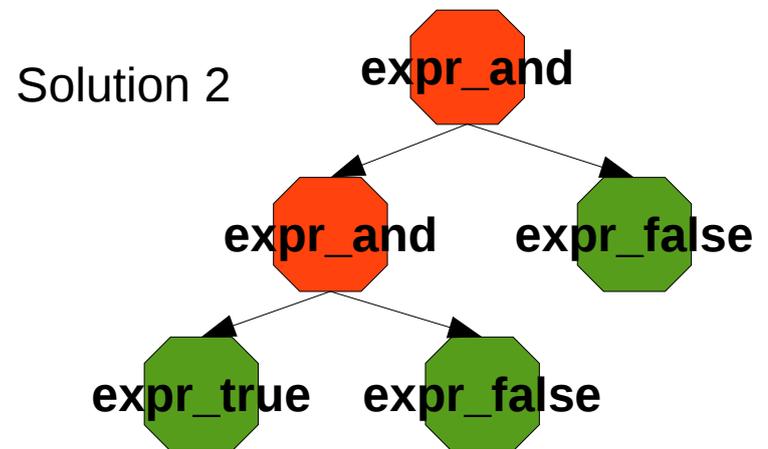
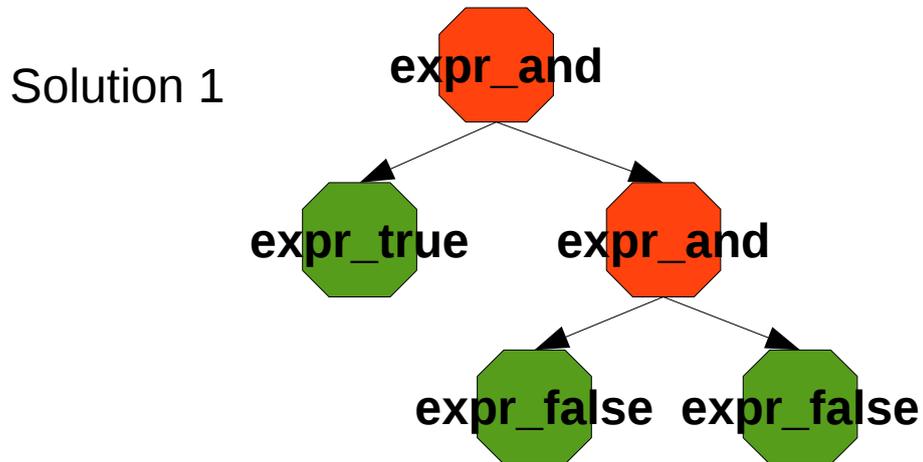


Parsing & ambiguïté

- il y a deux arbres de dérivation possible => grammaire ambiguë

```
expr = 'true'           { expr_true }  
      | 'false'         { expr_false }  
      | expr '&&' expr  { expr_and }  
      ;
```

Exemple : 



Parsing & ambiguïté

- L'analyse LR détecte les ambiguïtés
- Avec Tatoon: shift/reduce conflict state 9:

state9 - state 0: let id = true && true

Compatible versions : DEFAULT

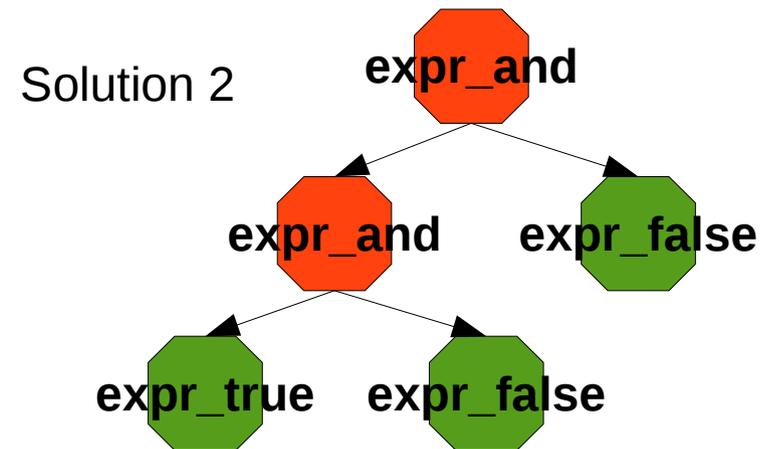
Kernel items	Actions
<code>expr ::= expr && expr •</code> <code>expr ::= expr • && expr</code>	<code>let</code> : reduce by <code>expr ::= expr && expr</code> <code>__eof__</code> : reduce by <code>expr ::= expr && expr</code> <code>and</code> : shift to <code>state8</code> , reduce by <code>expr ::= expr && expr</code> <code>branch</code> : reduce by <code>expr ::= expr && expr</code>

- Deux solutions:
 - Ré-écrire la grammaire
 - Mettre des priorités

Conflit LR shift/reduce

- Ré-écrire la grammaire:

```
expr = const_expr  
      | expr '&&' const_expr  
      ;  
const_expr = 'true'  
            | 'false'  
            ;
```



- On indique dans la grammaire que la récursivité se fait vers la gauche
=> Augmente le nombre d'état de l'automate LR

Priorité et associativité

- Lorsqu'il y a un conflit shift/reduce
- On compare la priorité, la plus grande priorité est choisie
- Puis on applique l'associativité parmi
 - left $((\text{expr} \ \&\& \ \text{expr}) \ \&\& \ \text{expr})$
 - right $(\text{expr} \ \&\& \ (\text{expr} \ \&\& \ \text{expr}))$
 - nonassoc (non associatif)

Conflit entre opérateurs

- `expr = 'true'`
 - | `'false'`
 - | `expr '&&' expr`
 - | `expr '||' expr`
 - | `;`
- Exemple: `true || false && true`
- 2 arbres possibles:
 - `(true || false) && true`
 - `true || (false && true)`

Conflit résolu par priorité

'&&' est plus prioritaire que '||'

priorities:

boolean_or = 1 left

boolean_and = 2 left

tokens:

and = '&&'

[boolean_and]

or = '||'

[boolean_or]

productions:

expr = 'true'

| 'false'

| expr '&&' expr [boolean_and]

| expr '||' expr [boolean_or]

;

Conflicts if/else

- $\text{instr} = \text{'if' '(' expr ')' instr}$
| $\text{'if' '(' expr ')' instr 'else' instr}$
;
;
- Exemple: $\text{if (expr) if (expr) else ...}$
(le else est celui du premier ou du second if ?)

state11 - state 0: if (id) print id

Compatible versions : DEFAULT

Kernel items	Actions
$\text{instr} ::= \text{if (expr) instr} \bullet \text{else instr}$ $\text{instr} ::= \text{if (expr) instr} \bullet$	$_else$: shift to state12 , reduce by $\text{instr} ::= \text{if (expr) instr}$ $_eof_$: reduce by $\text{instr} ::= \text{if (expr) instr}$ print : reduce by $\text{instr} ::= \text{if (expr) instr}$ $_if$: reduce by $\text{instr} ::= \text{if (expr) instr}$ branch : reduce by $\text{instr} ::= \text{if (expr) instr}$

Resolution conflits if/else

- Conflit entre le shift de else et le reduce if (expr) instr
- if...else est associatif à gauche

- **priorities:**

ifelse = 1 left

tokens:

`_else = 'else'` [ifelse]

productions:

`instr = 'if' '(' expr ')' instr` [ifelse]

`| 'if' '(' expr ')' instr 'else' instr`

`;`

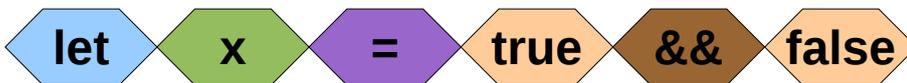
Conflit Reduce/Reduce

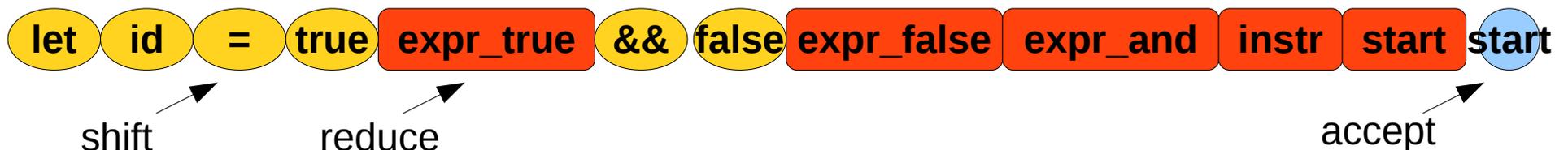
- Contrairement au conflit shift/reduce, l'erreur ne peut pas être résolu avec des priorités
- Il s'agit d'erreur qui montre que la grammaire est mal écrite, il y faut modifier la grammaire

Parsing LR

- 3 instructions possibles: shift terminal, reduce production, accept non terminal

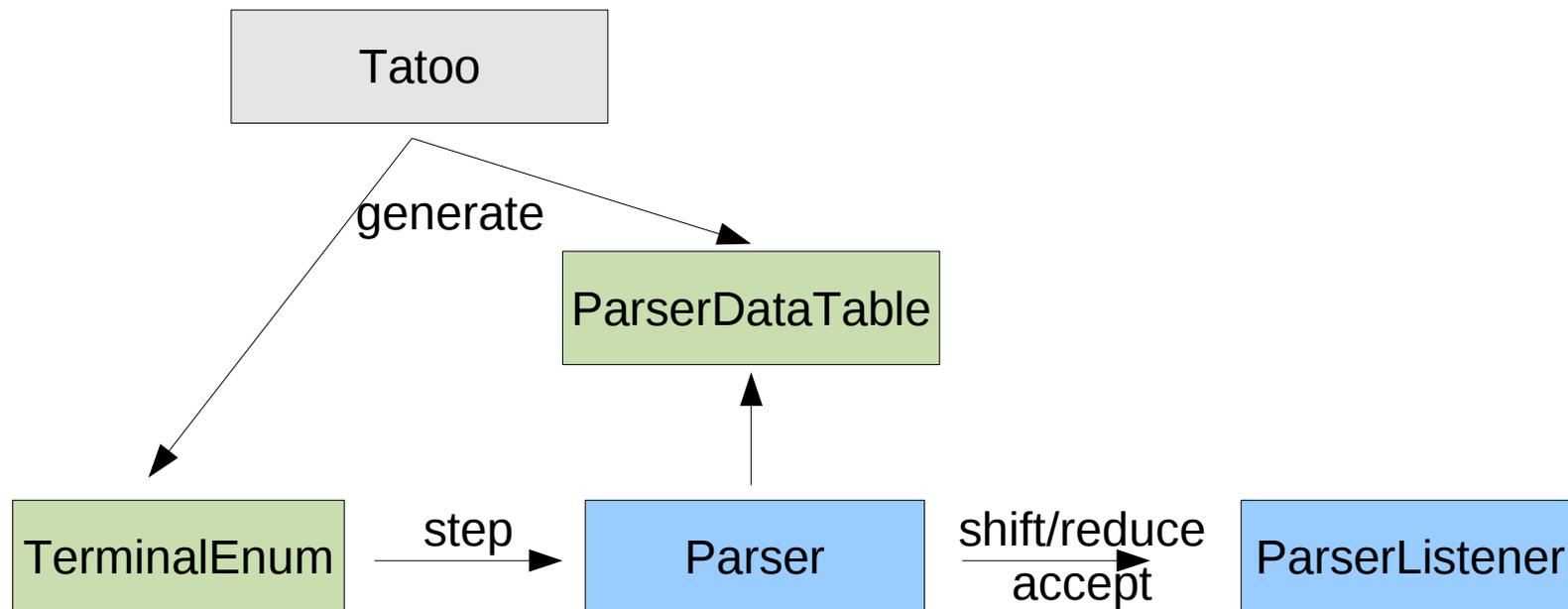
```
start = instr*           { start }
;
instr = 'let' 'id' '=' expr { instr }
;
expr = 'true'           { expr_true }
     | 'false'          { expr_false }
     | expr '&&' expr    [boolean_and] { expr_and }
;
```

Exemple: 



Parser de Tatoon

- L'automate LR est encodé dans la classe ParserDataTable.



Parseur avec Tatoon

- On utilise un listener pour être averti des actions effectuées par le parseur

```
ParserListener<TerminalEnum, NonTerminalEnum, ProductionEnum>
parserListener =
new ParserListener<TerminalEnum, NonTerminalEnum, ProductionEnum>() {
    public void shift(TerminalEnum terminal) {
        // shift d'un terminal
    }
    public void reduce(ProductionEnum production) {
        // reduce d'une production
    }
    public void accept(NonTerminalEnum nonTerminal) {
        // accept d'un non terminal
    }
};
SimpleParser<TerminalEnum> parser =
    Builder.parser(ParserDataTable.createTable()).
    listener(parserListener).
    create();
```

Parseur avec Tatoon

- On envoie les terminaux au parseur avec la méthode `step`. On appelle `close` pour dire qu'il n'y aura plus d'autres terminaux.

```
SimpleParser<TerminalEnum> parser = ...  
parser.step(TerminalEnum.let);  
parser.step(TerminalEnum.id);  
parser.step(TerminalEnum.assign);  
parser.step(TerminalEnum._true);  
parser.step(TerminalEnum.and);  
parser.step(TerminalEnum._false);  
parser.close();
```

```
reduce instr_star_0_empty  
shift let  
shift id  
shift assign  
shift _true  
reduce expr_true  
shift and  
shift _false  
reduce expr_false  
reduce expr_and  
reduce instr  
reduce instr_star_0_rec  
reduce start  
accept start
```

La reprise sur erreur

- Il y a deux façons de faire de la reprise sur erreur avec un analyseur LR
 - Prévoir un terminal spécifique dans la grammaire
 - Utiliser un algorithme automatique qui lors d'une erreur va tenter d'insérer/supprimer des terminaux
- Pour avoir une reprise sur erreur efficace il faut effectuer une action différentes en fonction de l'état LR (voir de la pile d'états)

Le terminal 'error'

- On ajoute dans la grammaire des productions utilisant un faux terminal 'error'

errors:

error

productions:

```
expr = 'value'  
      | expr '&&' expr  
      | '(' error ')'  
      ;
```

Si une erreur se produit après '(', le parseur va supprimer les terminaux intermédiaire jusqu'à pouvoir shifter le ')' correspondant

Les ';' dans un langage

- En C, on utilise des ';' à la fin des instructions pour faciliter la reprise sur erreur
 - ```
instr = print expr ';'
 | 'id' '=' expr ';'
 | 'error' ';'
 ;
```

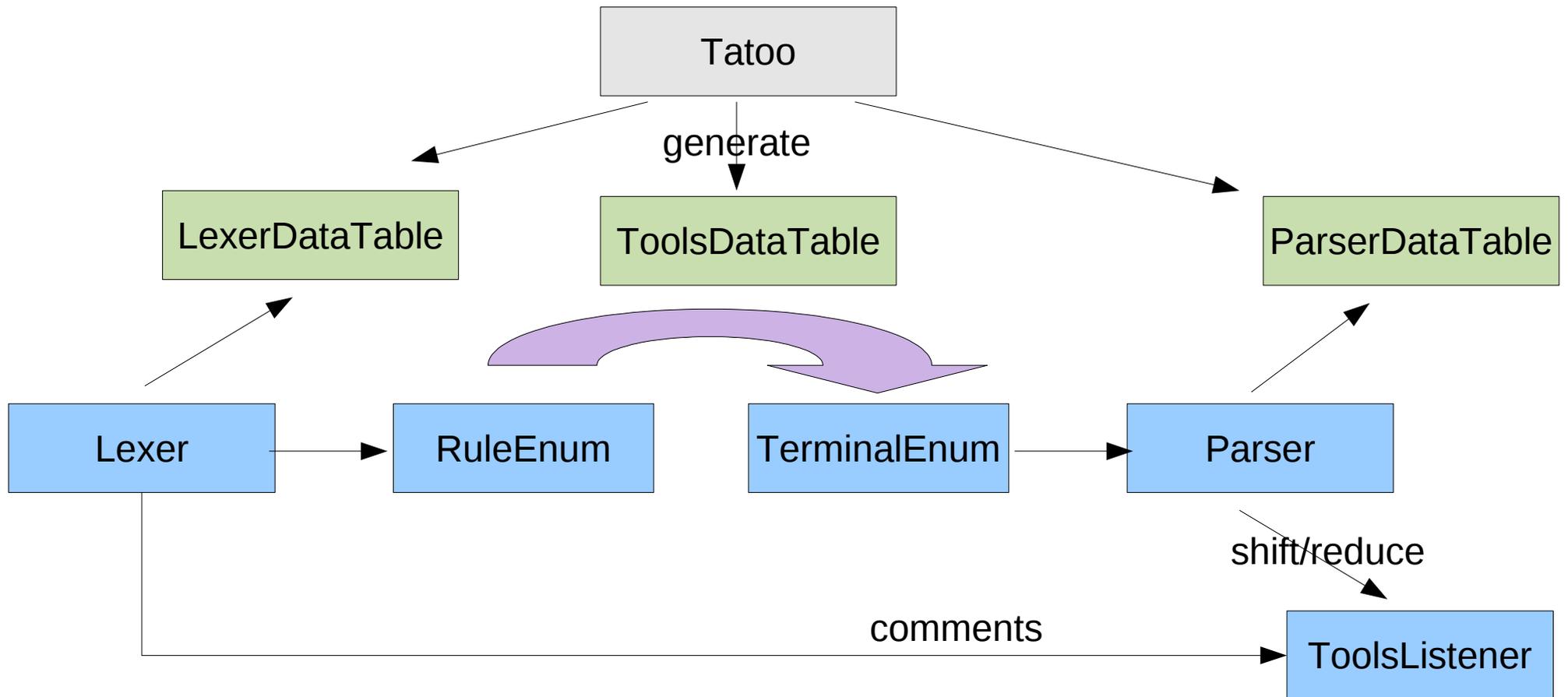
Si il y a une erreur, on supprime les terminaux jusqu'à trouver un ';'.

# Algorithme de reprise sur erreur

- Si une erreur arrive:
  - On dépile les états jusqu'à trouver un état qui accepte une action quand le lookahead est 'error'
    - Cela revient à supprimer tous les terminaux pris en compte jusqu'à '(' par exemple
  - On effectue les actions jusqu'à shifter 'error'
  - On lit les terminaux suivants jusqu'à voir le terminal après 'error'
    - par exemple ')' ou ';'

# Analyzer = Lexer + Parser

- On associe les règles du lexer aux terminaux du parser



# Analyzer avec Tatoon

```
Reader reader = ...
```

```
ToolsListener<RuleEnum, TokenBuffer<CharSequence>, TerminalEnum,
NonTerminalEnum, ProductionEnum> toolsListener = ...;
```

```
Builder.analyzer(LexerDataTable.createTable(),
 ParserDataTable.createTable(),
 ToolsDataTable.createToolsTable()).
 reader(reader).
 listener(toolsListener).
 create().
 run();
```

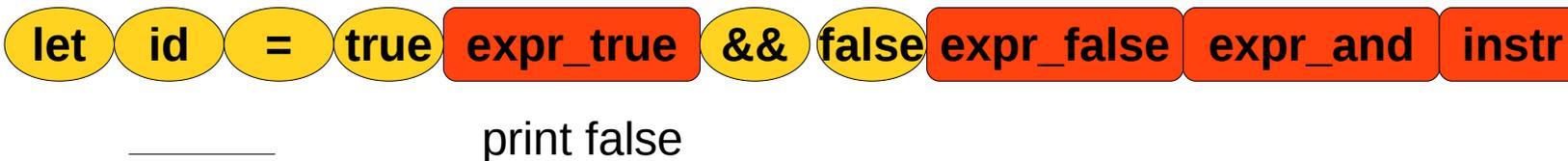
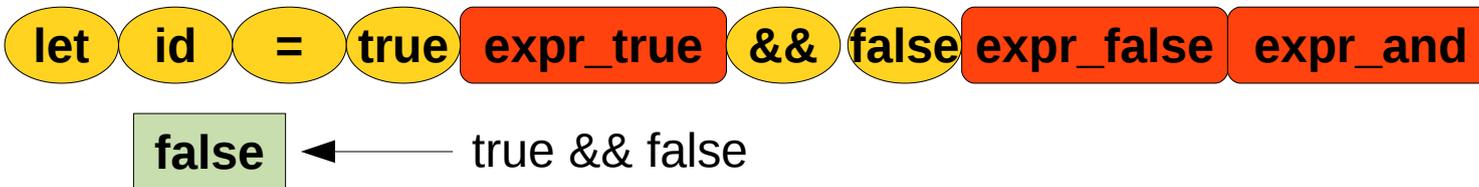
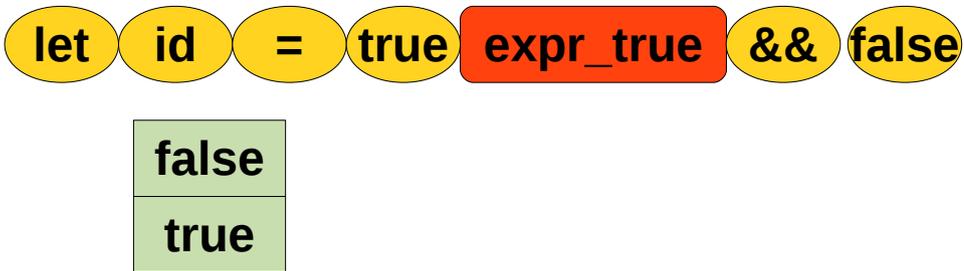
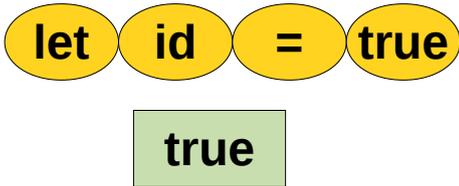
# Analyzer avec Tatoon

```
ToolsListener<RuleEnum, TokenBuffer<CharSequence>, TerminalEnum,
NonTerminalEnum, ProductionEnum> toolsListener =
 new ToolsListener<RuleEnum, TokenBuffer<CharSequence>, TerminalEnum,
 NonTerminalEnum, ProductionEnum>() {
 public void comment(RuleEnum rule, TokenBuffer<CharSequence> buffer) {
 // commentaire
 }
 public void shift(TerminalEnum terminal, RuleEnum rule,
 TokenBuffer<CharSequence> buffer) {
 // shift
 }
 public void reduce(ProductionEnum production) {
 // reduce
 }
 public void accept(NonTerminalEnum nonTerminal) {
 // accept
 }
 };
```

# Evaluateur à la main

- Le ToolsListener permet d'écrire un évaluateur
- Besoin d'une pile de valeur (ici des booléens)
- Evaluation:
  - On empile true ou false lors d'un shift correspondant
  - Lors d'un reduce expr\_and, on dépile deux valeurs, on effectue l'opération et on empile le résultat
  - Lors d'un reduce de instr, on dépile la valeur et on affiche le résultat

# Evaluateur à la main



# Evaluateur à la main

```
new ToolsListener<RuleEnum, TokenBuffer<CharSequence>, TerminalEnum,
 NonTerminalEnum, ProductionEnum>() {
 public void shift(EvalTerminalEnum terminal, EvalRuleEnum rule,
 TokenBuffer<CharSequence> buffer) {
 if (rule == EvalRuleEnum._true || rule == EvalRuleEnum._false) {
 stack.push(Boolean.parseBoolean(buffer.view().toString()));
 }
 }
 public void reduce(EvalProductionEnum production) {
 switch(production) {
 case expr_and: {
 boolean secondValue = stack.pop();
 boolean firstValue = stack.pop();
 stack.push(firstValue && secondValue);
 break;
 }
 case instr:
 System.out.println("value: "+stack.pop());
 break;
 default:
 }
 }
} ... };
```

# Evaluateur automatique

- Il est possible avec Tatoon d'indiquer un type pour les terminaux et les non terminaux
- Tatoon gère alors la pile des valeurs tout seul

types:

'true':boolean

'false':boolean

expr:boolean

productions:

start = instr\* { start }

;

instr = 'let' 'id' '=' expr { instr }

;

expr = 'true' { expr\_true }

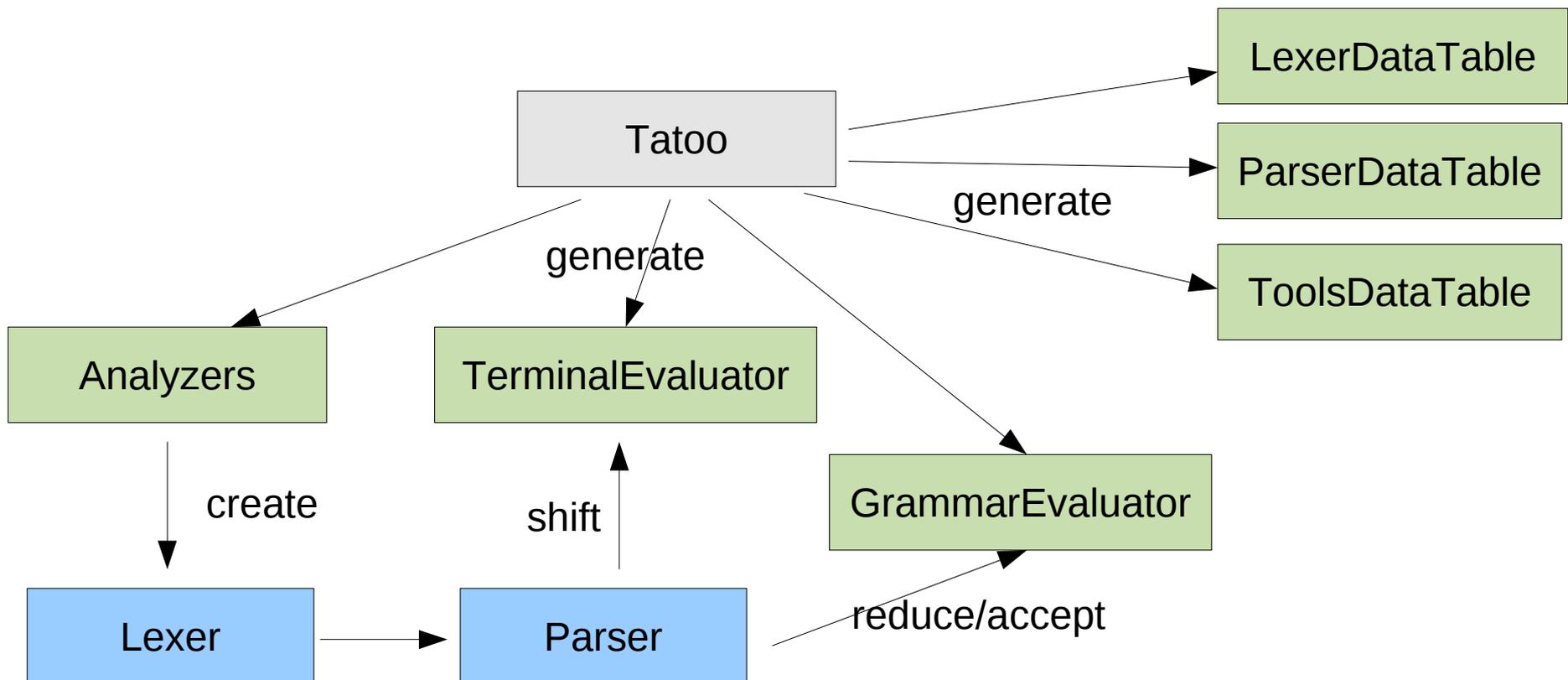
| 'false' { expr\_false }

| expr '&&' expr [boolean\_and] { expr\_and }

;

# Evaluateur de Tatoon

- Tatoon génère un évaluateur de terminaux et un évaluateur de productions



# Evaluateur automatique

```
Reader reader = ...
```

```
TerminalEvaluator<CharSequence> terminalEvaluator = ...
```

```
GrammarEvaluator grammarEvaluator = ...
```

```
Analyzers.run(reader,
 terminalEvaluator,
 grammarEvaluator,
 null, // start non terminal
 null); // version
```

# TerminalEvaluator

- Indique la valeur de chaque terminal typé

```
TerminalEvaluator<CharSequence> terminalEvaluator =
 new TerminalEvaluator<CharSequence>() {
 public void comment(CharSequence data) {
 // do nothing
 }
 public boolean _false(CharSequence data) {
 return false;
 }
 public boolean _true(CharSequence data) {
 return true;
 }
 };
```

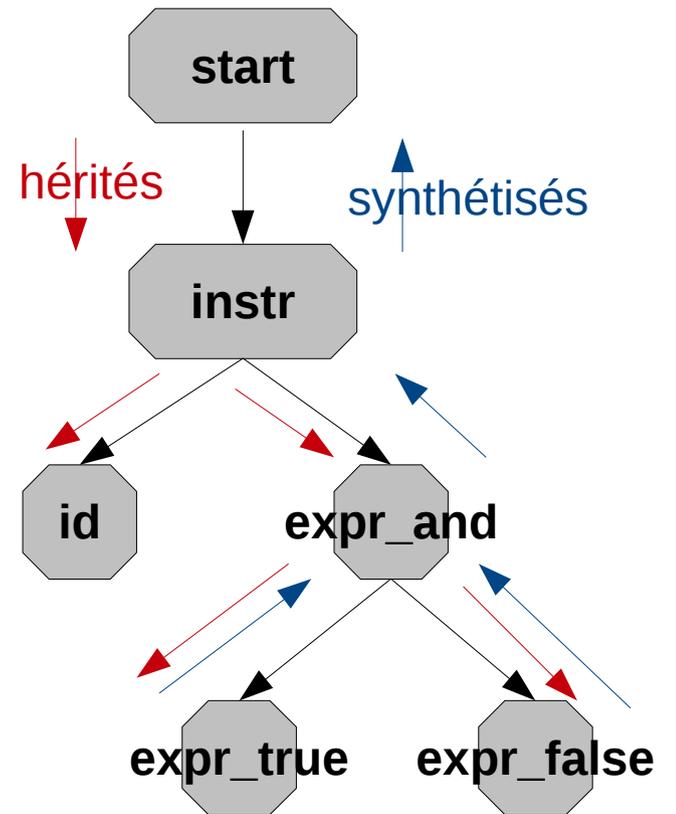
# GrammarEvaluator

- Indique la valeur de chaque production si la partie gauche ou la partie droite est typé

```
GrammarEvaluator grammarEvaluator =
new GrammarEvaluator() {
 public boolean expr_false(boolean expr) {
 return expr;
 }
 public boolean expr_true(boolean expr) {
 return expr;
 }
 public boolean expr_and(boolean expr, boolean expr2) {
 return expr && expr2;
 }
 public void instr(boolean expr) {
 System.out.println("value: "+expr);
 }
 public void acceptStart() {
 // do nothing
 }
}
```

# Arbre & Attributs

- Sur un arbre de dérivation, on peut calculer deux sortes d'attributs
- Les attributs hérités qui vont de la racine vers les feuilles
- Les attributs synthétisés qui vont des feuilles vers la racine



# Evaluateur & Attributs

- Les évaluateur LR (comme ceux de Tatoon) permettent d'utiliser des attributs synthétisés sans construire réellement l'arbre
- Si l'on veut des attributs hérités, il faut construire l'arbre.  
On peut le faire grâce à un attribut synthétisé

