



Compilation

Présenté par Yann Caron
skyguide

ENSG Géomatique

Plan du cours

Grammaire

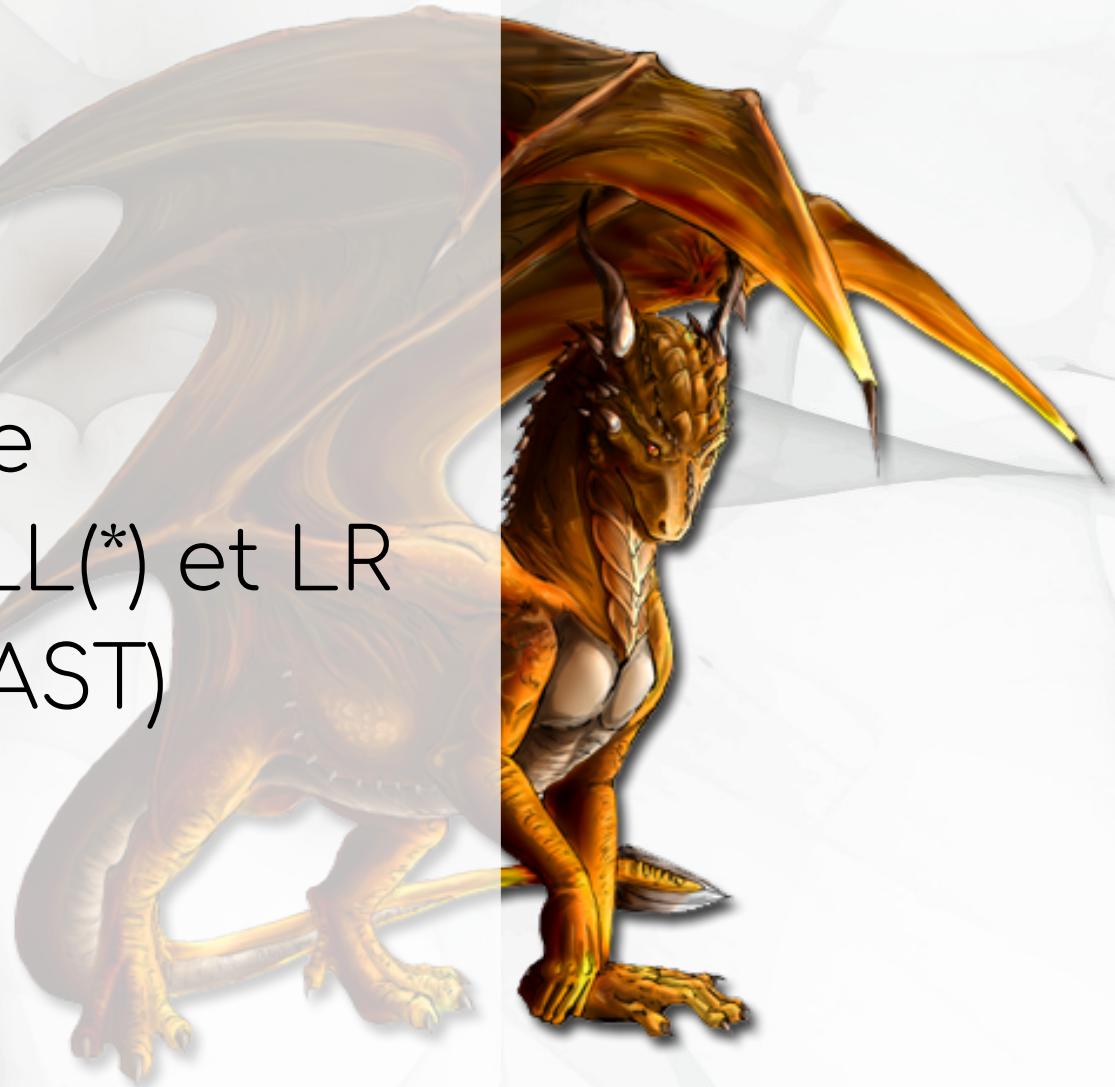
Analyse Lexicale

Algorithme LL(0)

Analyse Syntaxique

Algorithmes LL(k), LL(*) et LR

Arbre Syntaxique (AST)



Vue d'ensemble

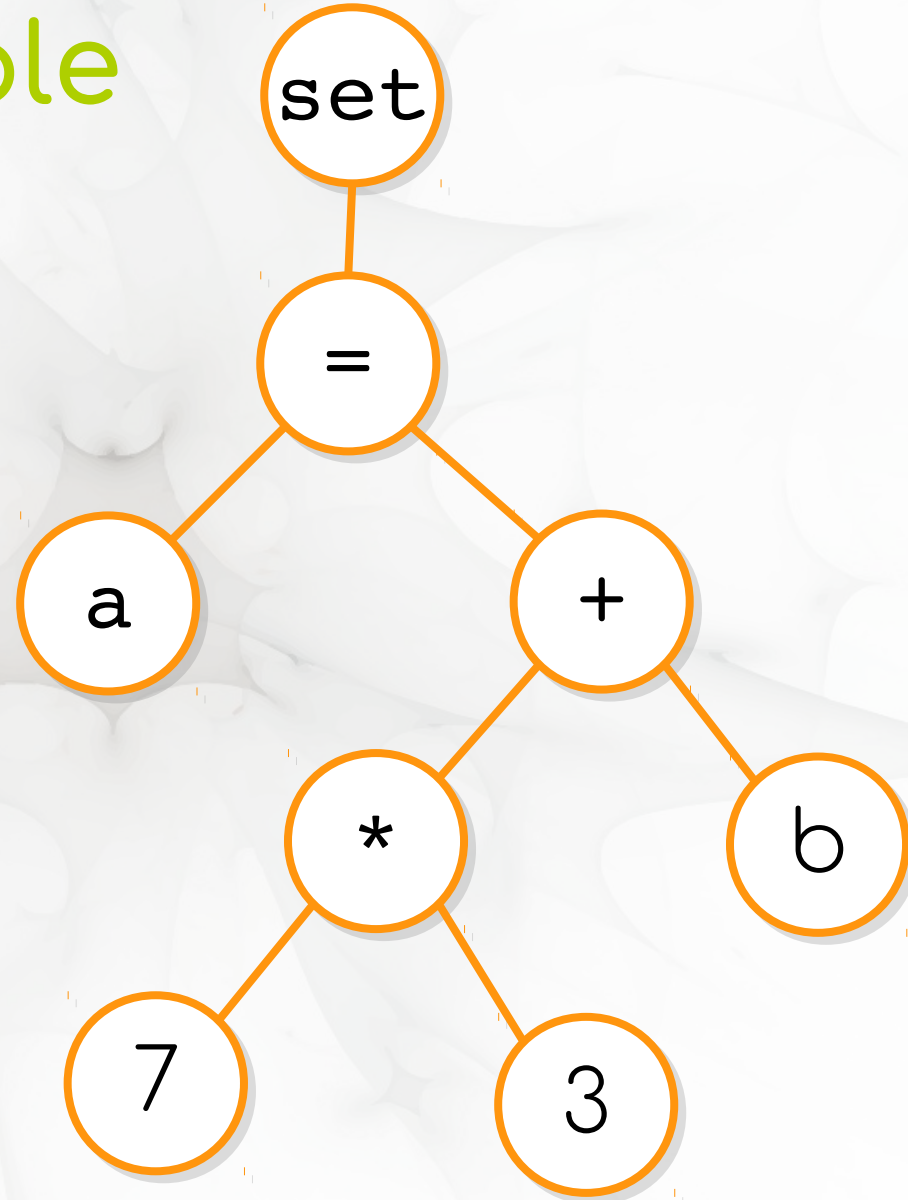
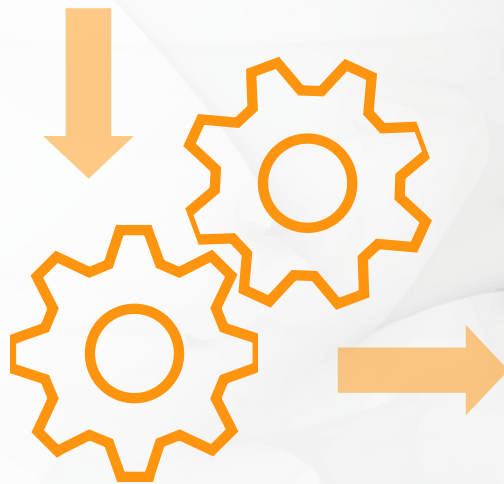
- ✓ La Syntaxe est l'étude de la façon dont les mots sont organisés pour construire des phrases
- ✓ La syntaxe ne s'intéresse pas à la sémantique des mots (les paradigmes)
- ✓ Par contre l'analyse syntaxique peut apporter de l'information pour l'analyse sémantique future

Vue d'ensemble

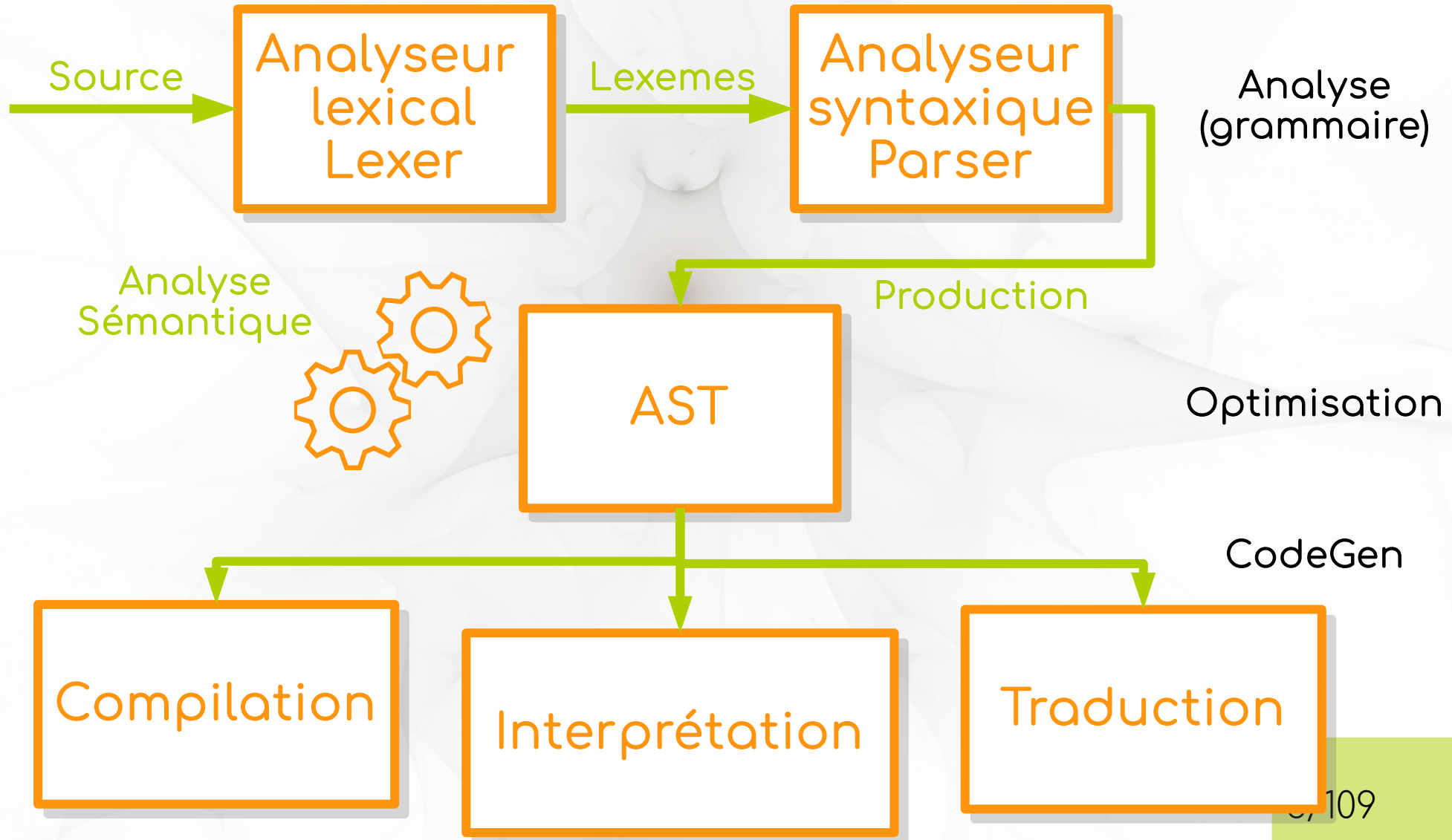
- ✓ Analyseur lexical : Transforme une chaîne de lettres en une chaîne de mots typés appelés Lexems (token)
- ✓ Ex : [87 (number), '+' (symbol), 3 (number)]
- ✓ Analyseur syntaxique: Transforme une chaîne de lexems en un arbre syntaxique (AST)

Vue d'ensemble

s e t a = 7 * 3 + b



Vue d'ensemble

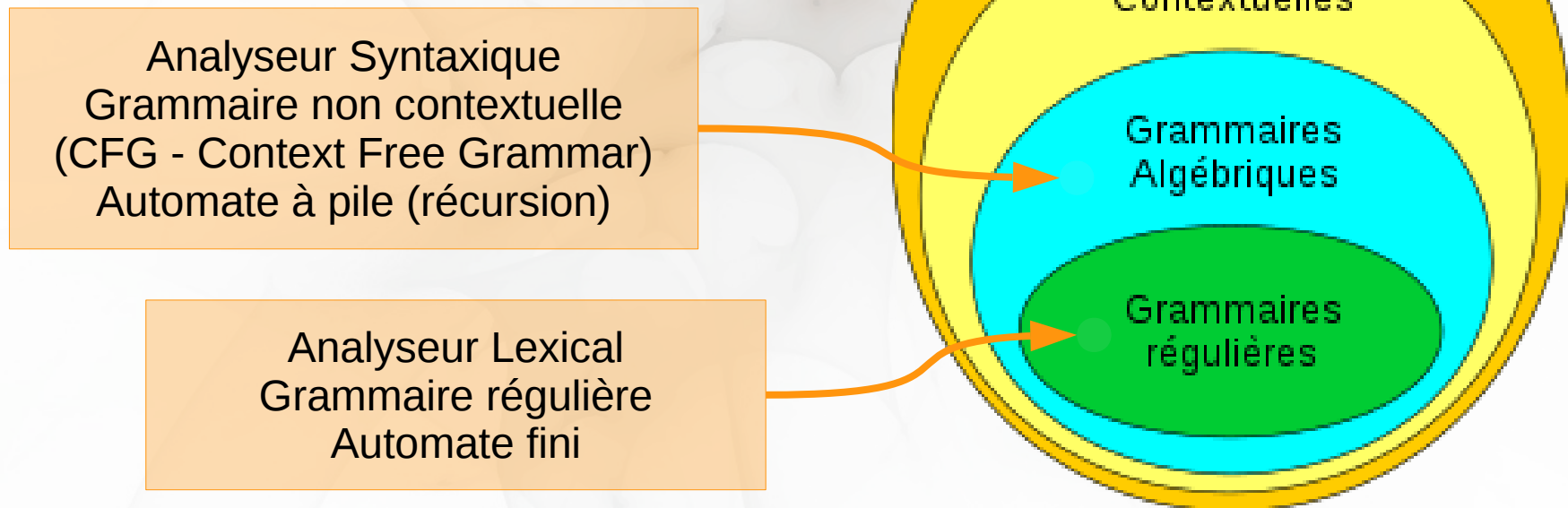


Vue d'ensemble

- ✓ Généralement :
- ✓ L'analyseur lexical utilise une grammaire régulière
 - ✓ Automate fini lit de gauche à droite
- ✓ L'analyseur syntaxique utilise une grammaire non-contextuelle (context free)
 - ✓ Encapsulation (exemple bien parenthésé)

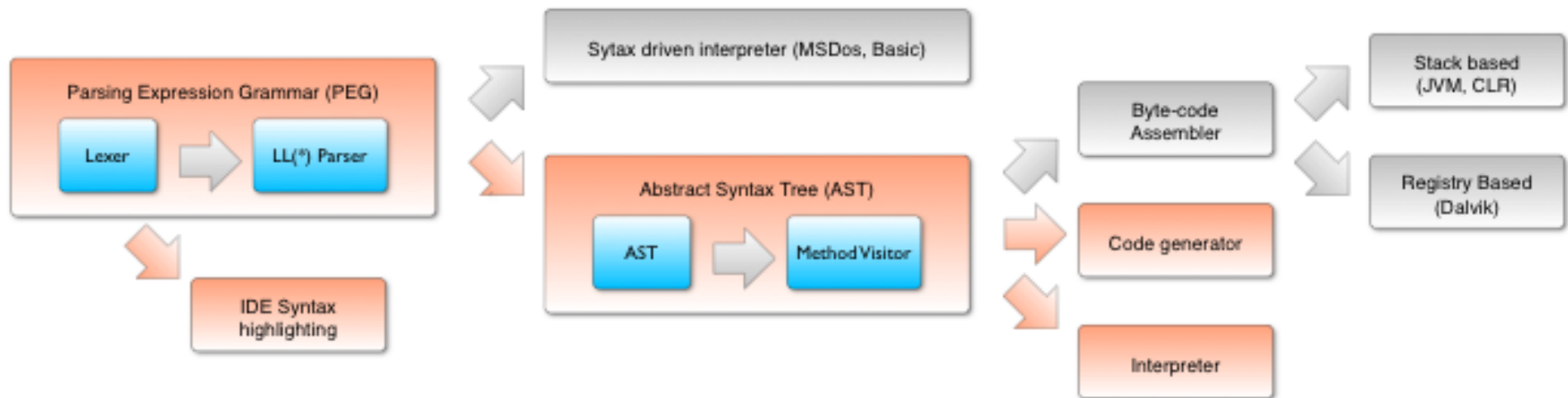
Hiérarchie de Chomsky

- ✓ voir le cours sur la théorie de langages
- ✓ langages formels
- ✓ 4 classes de langages



Vue d'ensemble

- ✓ Choix à plusieurs niveaux



Vue d'ensemble

- ✓ Le résultat de l'analyse lexicale est aussi utilisé pour la coloration syntaxique
- ✓ Pour décrire les grammaires des analyseurs lexicaux et syntaxiques, on utilise la Forme de Backus-Naur

Grammaire

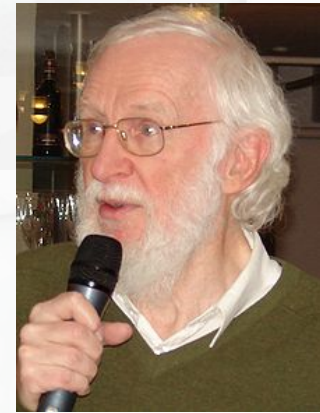


BNF

- ✓ Backus Naur Form
- ✓ Notation permettant de décrire les règles syntaxiques des langages de programmation
- ✓ Défini lors de la création de Algol60
- ✓ Successeur du Fortran originalement créé par John Backus



John Backus
1924 - 2007



Peter Naur
1928 - 2016

EBNF - syntaxe

- ✓ * répétition
- ✓ - absence
- ✓ , concaténation
- ✓ | choix
- ✓ = définition
- ✓ ; terminaison
- ✓ 'a' .. 'z' intervalle
- ✓ ` terminal ambigu `
- ✓ " terminal ambigu "
- ✓ (* commentaire *)
- ✓ (groupe)
- ✓ [groupe optionnel]
- ✓ { groupe répété }
- ✓ ? séquence spéciale ?

EBNF - exemple

```

null = ' ' | '\t' | '\n' | '\r';
number = ( '0' .. '9' ) { '0' .. '9' };
symbol = '(' | ')' | '+';
keyword = { 'a' .. 'b' | 'A' .. 'B' };

lexem = keyword | symbol | number |
null;
lexemList = { lexem }
```

BNF - exercice

- ✓ Quelle est la grammaire du wkt ?
- ✓ POINT (10 20)
- ✓ POINT Z (17 15.5 14.7)
- ✓ MULTIPOINT((3.5 5.6), (4.8 10.5))
- ✓ MULTIPOINT Z((3.5 5.6 4.7), (4.8 10.5 7))

EBNF - exercise

✓ MULTIPOINT Z ((3.5 5.6 4.7), (4.8 10.5 7))

MULTIPOINT

Keyword

Dim? data

pointCoordList

pointCoord

coord

EBNF - réponse

multipoint = **keyword** **dim?** **Data**;

keyword = 'MULTIPOINT';

dim = 'Z' | 'M' | 'ZM';

data = '(' **pcl** ')';

pcl = **pc** { ',' **pc** };

pc = '(' **number** { ' ' **number** } ')';

number = [0..9] { [0..9] }

Pourquoi cette
syntaxe ?

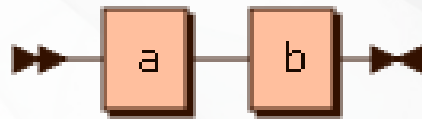
Attention destiné
au Lexer

Railroad Diagram

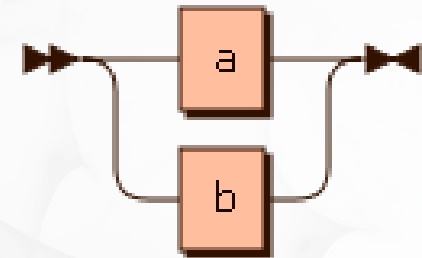
- ✓ Propose une représentation graphique de la grammaire
- ✓ <http://www.bottlecaps.de/rr/ui>
- ✓ Représente les séquences, les choix et les boucles
- ✓ Remarque : opérateurs nécessaires et suffisants
- ✓ cf : JinyParser

Railroad Diagram

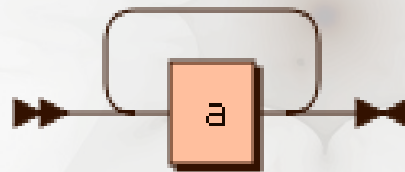
sequence $a\ b$



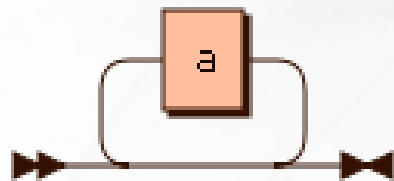
choix $a\ |\ b$



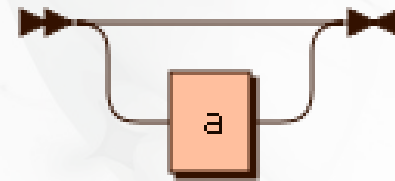
répétition 1-n a^+



répétition 0-n a^*

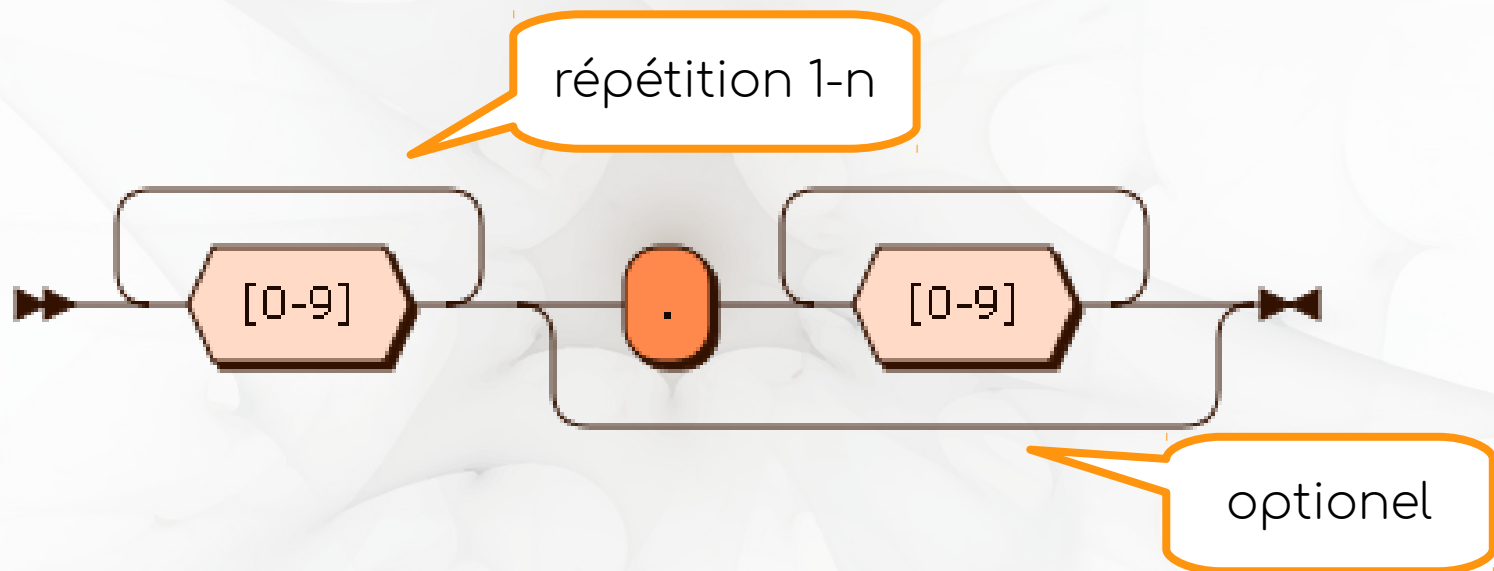


optionnel $a^?$



Railroad Diagram

$[0-9]^+ (\cdot [0-9]^+)?$



Équivalences Kleene / EBNF

- ✓ Optionnel :

$$a? \Leftrightarrow [a] \Leftrightarrow a \mid \xi$$

- ✓ Répétition (0 .. n) :

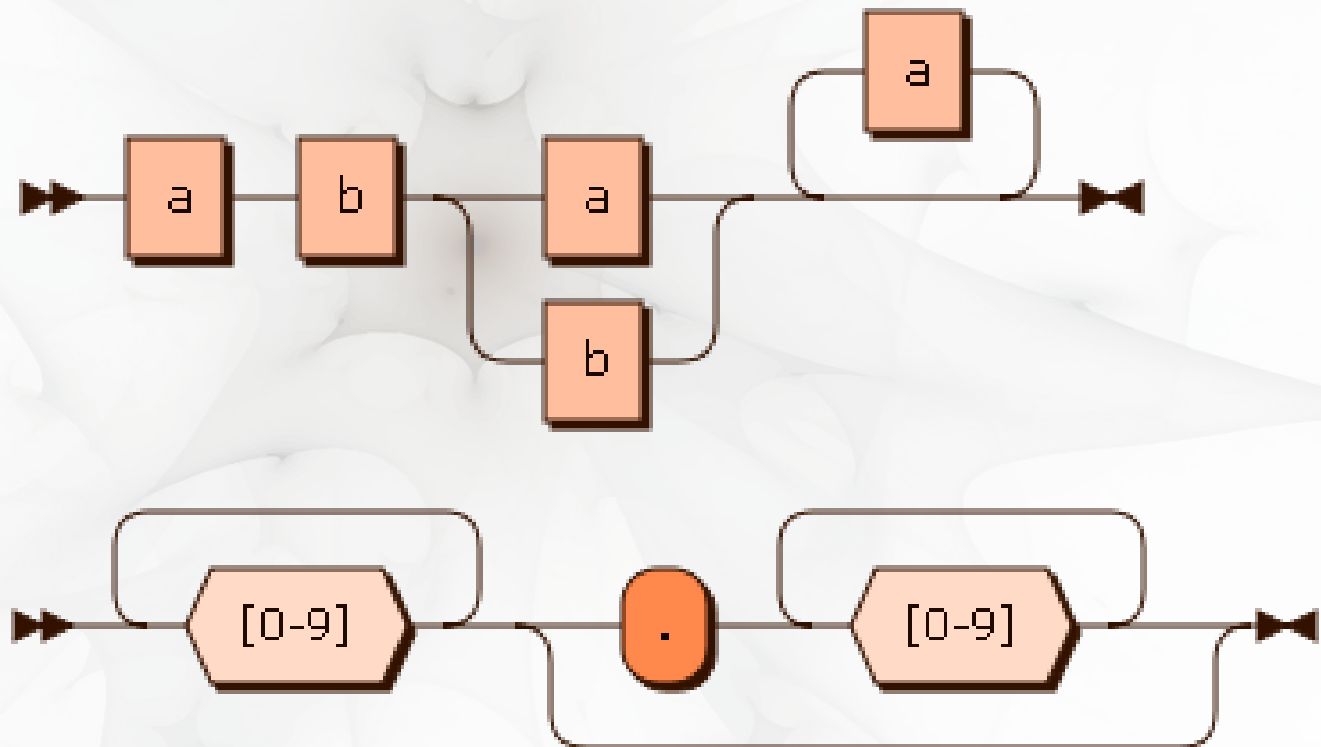
$$a^* \Leftrightarrow \{a\} \Leftrightarrow (a \mid \xi)^+$$

- ✓ Répétition (1 .. n) :

$$a^+ \Leftrightarrow a \{a\}$$

Exercice

- ✓ Donner des exemples de mots acceptables pour :



Réponses

- ✓ aba, abb, abaaaa, abbaaaaa
- ✓ non acceptés : abbb, aaba, bab
- ✓ 0, 1, 50, 25.4, 29.7598
- ✓ non acceptés : .25, 2.2.2, 27.

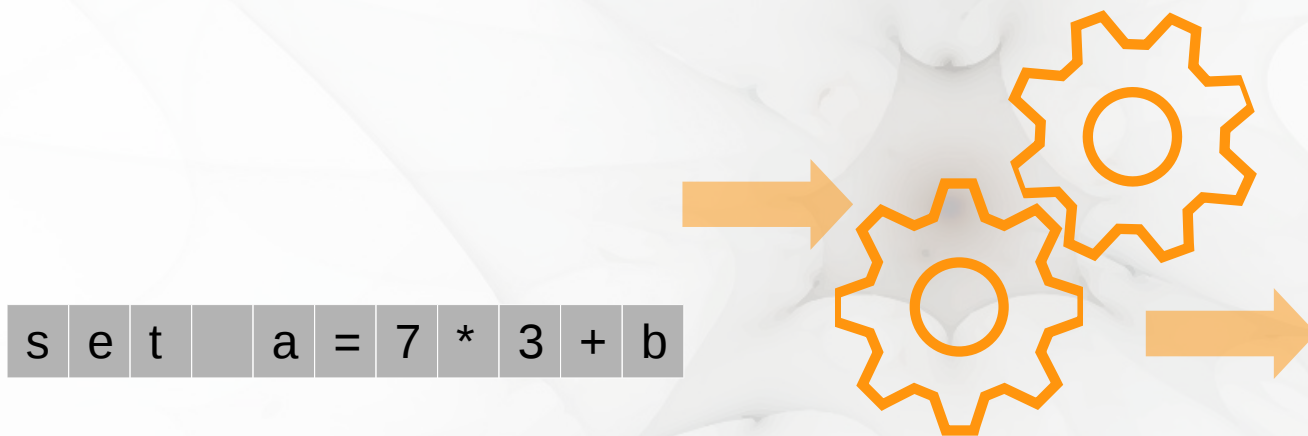
Analyse Lexicale



Généralités

- ✓ But :
 - ✓ Lire le code source
 - ✓ Reconnaître les mots
 - ✓ Distinguer les types de mots (chiffres, identifiants, chaînes de caractères, symboles, espaces)
- ✓ Entrée :
 - ✓ Une liste de caractères
- ✓ Sortie :
 - ✓ Une liste de mots typés (lexèmes)

Lexer - définition



set	keyword
	space
a	ident
=	symbol
7	number
*	symbol
3	number
+	symbol
b	ident

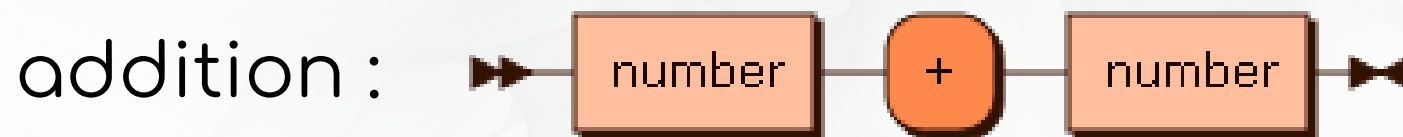
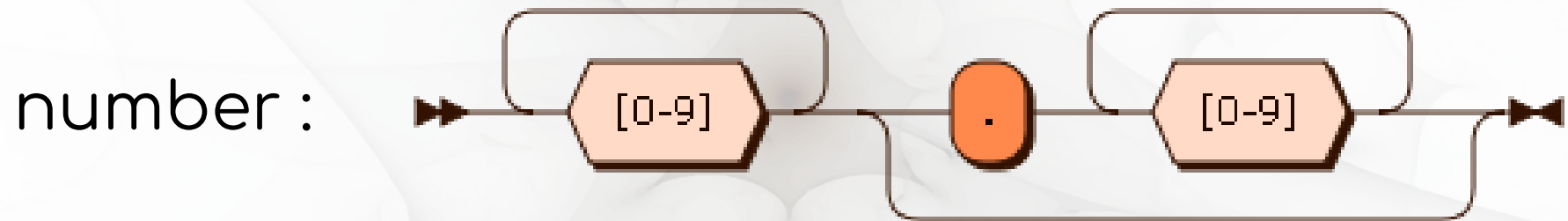
Remarques

- ✓ Consommé par l'analyseur syntaxique
- ✓ Mais pas obligatoire (algorithmes similaires entre lexer et parser)
- ✓ Utilise généralement un algorithme LL(1)
- ✓ Également utilisé lors de la coloration syntaxique

```
void main() {  
    set a = 7 * 3 + b  
}
```

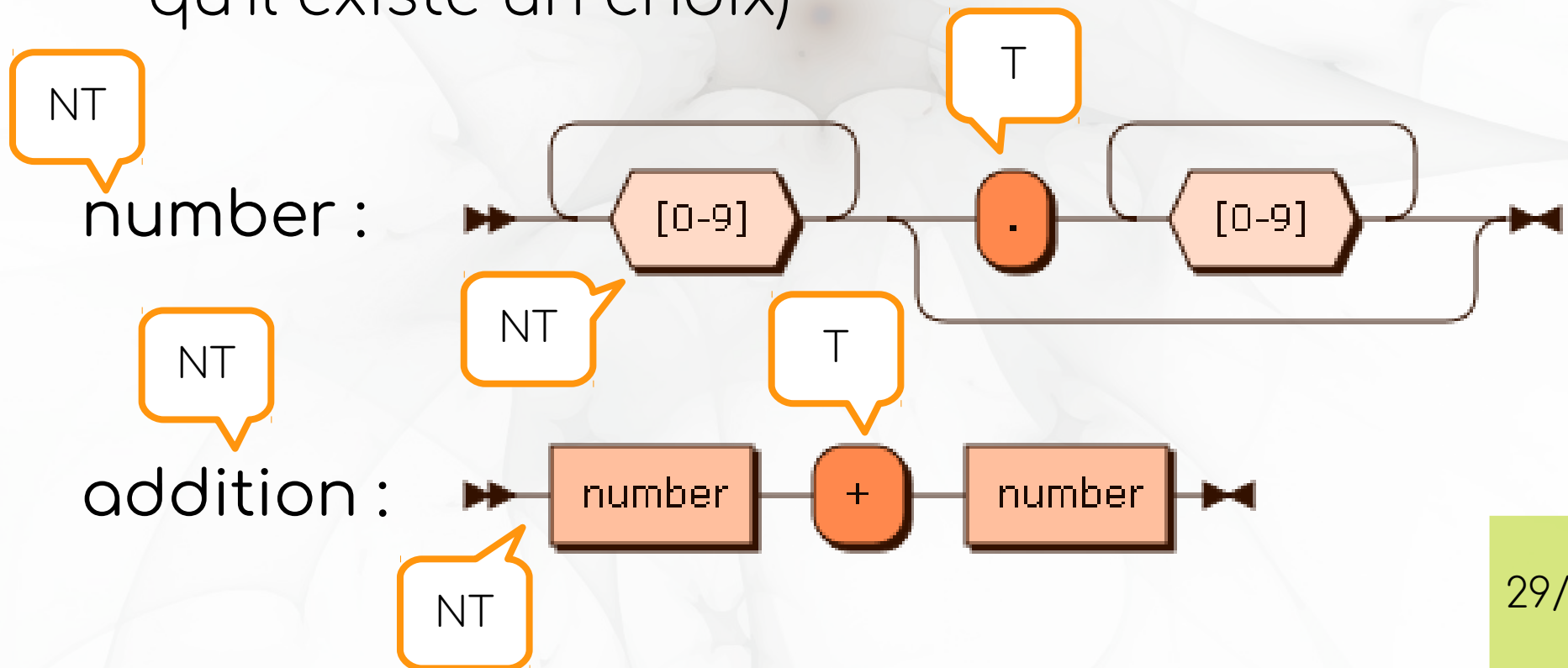
Question ?

- ✓ Différence entre grammaire pour le lexer et pour le parser



Terminal / Non Terminal

- ✓ Et dit terminal ssi aucune règle n'existe pour le transformer en autre chose
- ✓ Et dit non terminal ssi une règle existe (dès qu'il existe un choix)



Remarques

- ✓ Ces mots typés sont appelés Lexèmes ou Tokens
- ✓ Types généralement utilisés :
 - ✓ SPACE, COMMENT - /* */ \n
 - ✓ SYMBOL - () { } + - * / %
 - ✓ NUMBER, STRING
 - ✓ KEYWORD – if, else, while, do
 - ✓ IDENT – Test sur le type uniquement

Exercice

- ✓ Donner la définition d'un analyseur lexical capable de parcourir ce script :

```
if (_var0 < 0.1) { /* test */  
    print ("too small")  
} else {  
    _var0 += 1  
}
```

Réponse

```
digit ::= [0-9]
alpha ::= [a-z] | [A-Z] | '_'
alphaNum ::= digit | alpha
character ::= alpha | num | Space
```

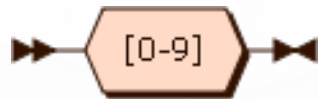
```
SPACE ::= ' ' | '\n' | '\t'
COMMENT ::= '/*' character* '*/'
SYMBOL ::= '+=' | '=' | '+' | '(' | ')' | '{' | '}'
NUMBER ::= digit+ ('.' digit+)?
STRING ::= '"' character* '"'
KEYWORD ::= 'if' | 'then'
IDENT ::= alpha alphaNum*
```

L'ordre est il important ?

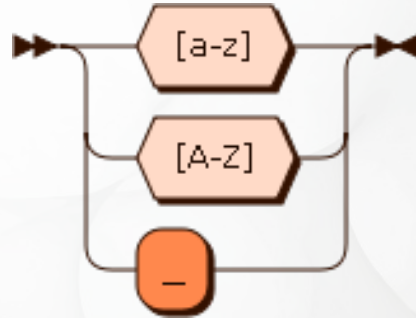
Production d'un
lexème + type

Pourquoi pas
alphaNum+ ?

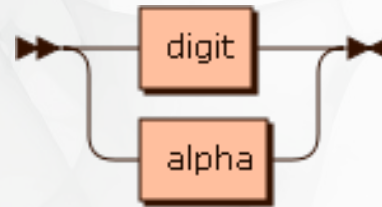
digit



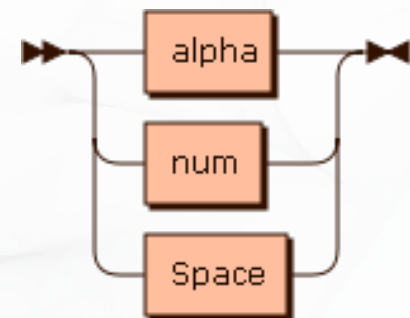
alpha



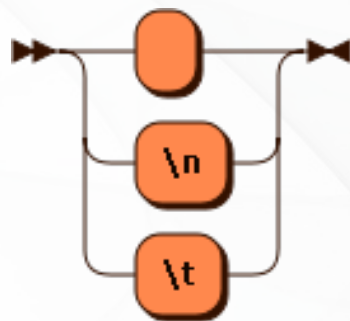
alphaNum



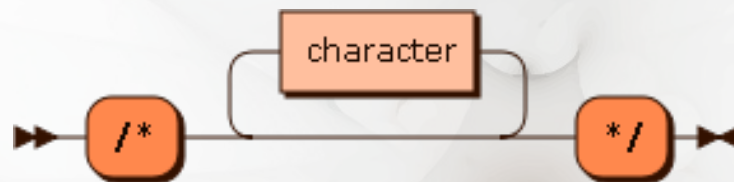
character



SPACE



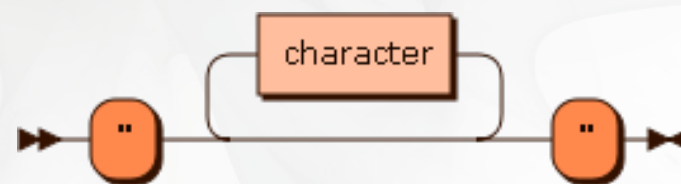
COMMENT



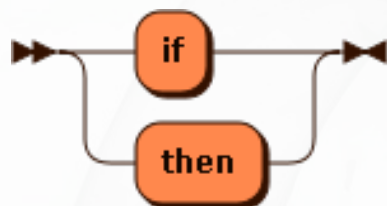
NUMBER



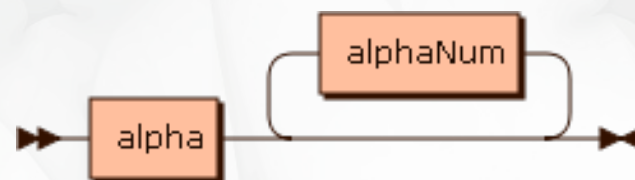
STRING



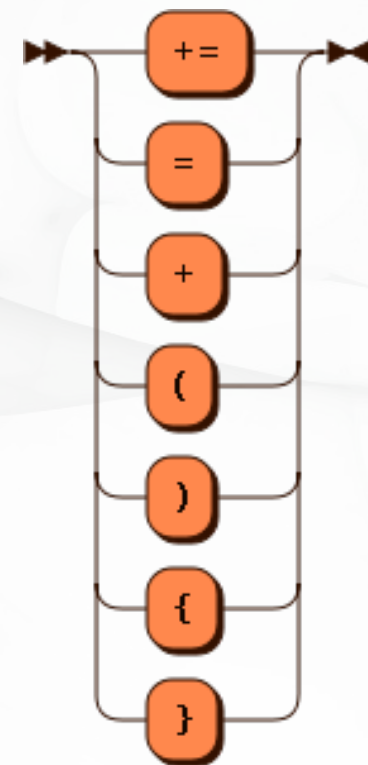
KEYWORD



IDENT



SYMBOL

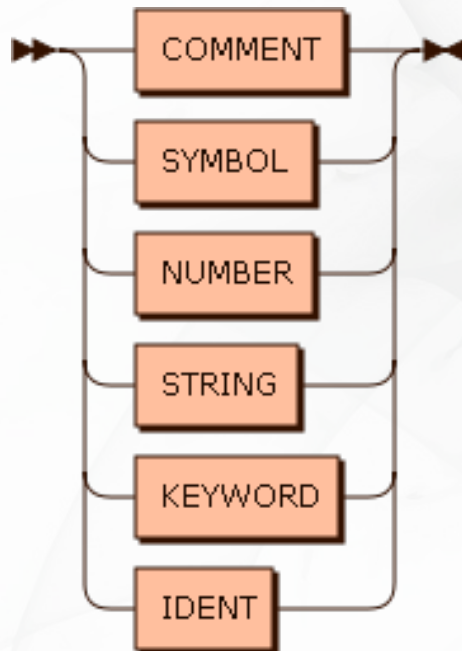


Lexème global

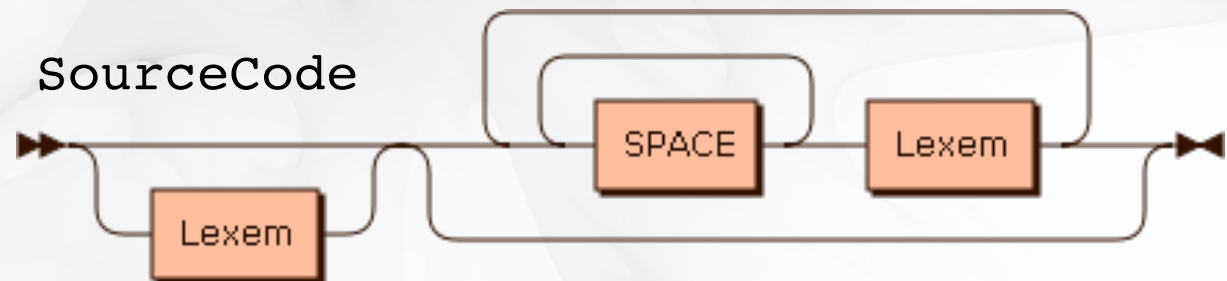
- ✓ Un programme est une liste de mots

```
Lexem ::= COMMENT | SYMBOL | NUMBER |  
        STRING | KEYWORD | IDENT  
SourceCode ::= Lexem? (SPACE Lexem)*
```

Lexem



SourceCode



Algorithmme LL(0)



Algorithme LL(0)

- ✓ Pour transformer la chaîne de caractère en liste de lexèmes, il faut :
- ✓ Lire les caractères uns a uns
- ✓ De gauche à droite
- ✓ Déterminer le type de production
- ✓ Stocker le résultat dans une liste

LL(0) Recursive descent parser

abbaaaaa

consumed ↑↑

```
function testA() {  
    if (current == "a") return true;  
    return false;  
}  
  
function consumeA() {  
    // do stuffs  
    next()  
}
```

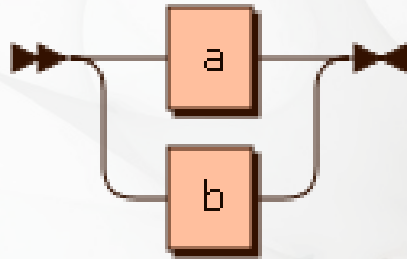
Implémentation typique



```
function sequence() {  
  if (testA()) consumeA()  
  else return false  
  
  if (testB()) consumeB()  
  else return false  
  
  return true  
}
```

Implémentation typique

choix



```
function choice() {  
  
    if (testA()) consumeA()  
    else if (testB()) consumeB()  
    else return false  
  
    return true  
}
```

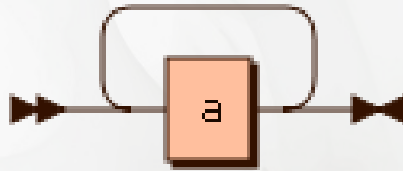

Implémentation typique



```
function optional() {  
    if (testA()) consumeA()  
    return true  
}
```

Implémentation typique

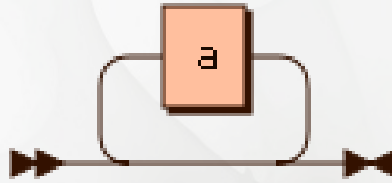
répétition + :



```
function repeatOneOrMore() {  
    if (!testA()) return false  
    do {  
        consumeA()  
    } while (testA())  
  
    return true  
}
```

Implémentation typique

répétition * :



```
function repeatZeroOrMore() {  
    while (testA()) {  
        consumeA()  
    }  
    return true  
}
```

Algorithme LL(0)

- ✓ Left to Right
- ✓ Left most derivation
 - ✓ L'élément de gauche détermine quelle règle grammaticale appliquer
- ✓ Look ahead de 0
 - ✓ L'algorithme ne teste que le caractère courant
- ✓ Algorithme typiquement utilisé pour l'analyseur lexical
- ✓ Implémentation Recursive Descent Parser

Exemple



```
function parseNumChar() {  
  
    if (!testNum())  
        return false  
    do {  
        consume()  
    } while (testNum)  
  
    return false  
}
```

Répétition +

```
function parseNumber() {  
  
    parseNumChar()  
    if (testDot()) {  
        consume()  
        parseNumChar()  
    }  
  
}
```

Optionnel

Limitations

- ✓ Le premier symbole (Left most derivation) est déterminant pour la production
- ✓ Convient pour le Basic, le Pascal, Le LISP ou l'analyse lexicale
- ✓ Pourquoi les identifiants doivent commencer par une lettre (C like, Python, Pascal, Basic ...)
- ✓ `String str2 = « myString »` est valide
- ✓ `String 2dStr = « myString »` ne l'est pas !

Limitations - solution

- ✓ Pour augmenter le nombre de grammaire reconnus on peut augmenter le “look ahead”
- ✓ Avant la production on regarde les éléments suivants
- ✓ L'analyseur LL(k)
- ✓ k détermine le nombre d'éléments à regarder
- ✓ LL(0) est un cas particulier du LL(k)
- ✓ LL(*) lorsque k est illimité (pré-analyse sans production)

LL(k)

`2dStr = "Hello"`



look ahead

- ✓ Un look ahead de 2 permettrait de préfixer les identifiants avec un chiffre
- ✓ Ainsi de distinguer un identifiant d'un nombre de manière certaine
- ✓ Ne fonctionne plus si le nombre est plus grand : `27dString`
- ✓ Une solution ?

LL(*)

2dStr = "Hello"



↑ look ahead

- ✓ Un look ahead infini permet de déterminer à coup sûr de la grammaire qui va suivre
- ✓ Intervient lors d'un choix entre deux productions
- ✓ Algorithme Backtrack (parcours récursivement la structure)
- ✓ A suivre

Analyse Syntactique

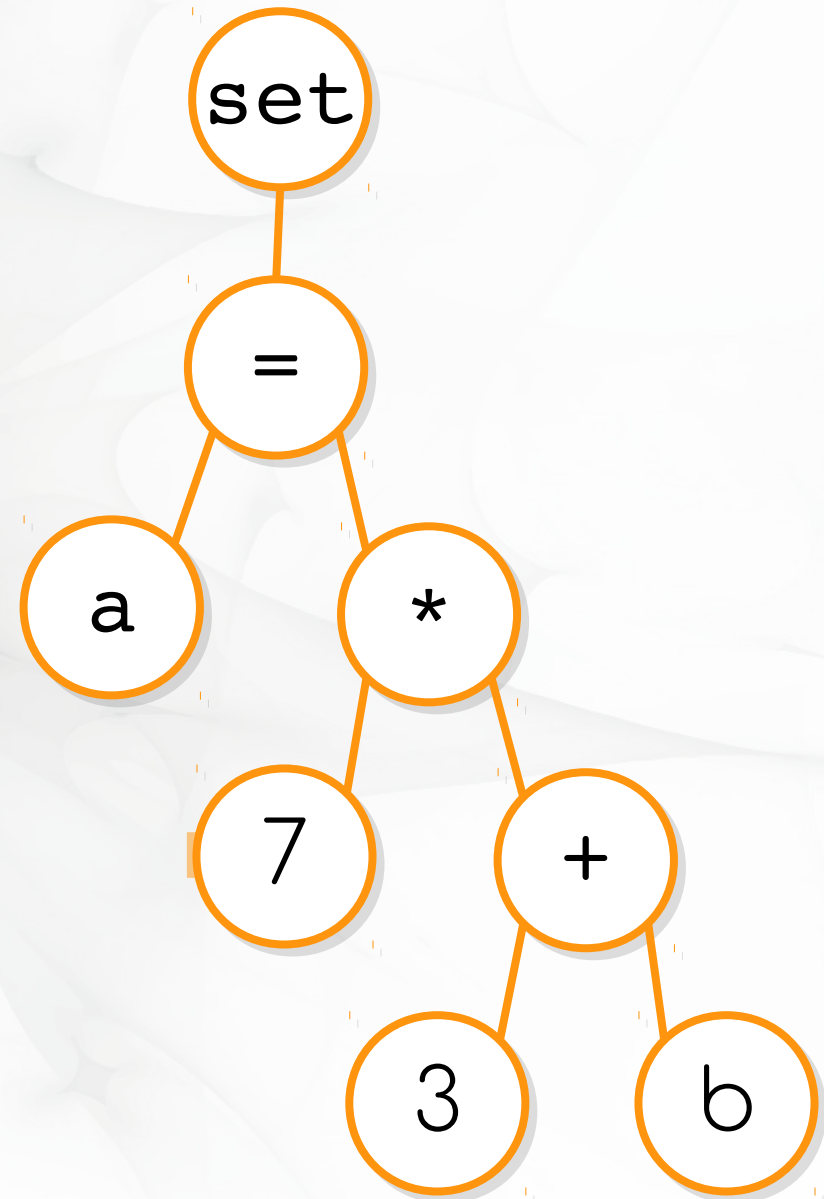
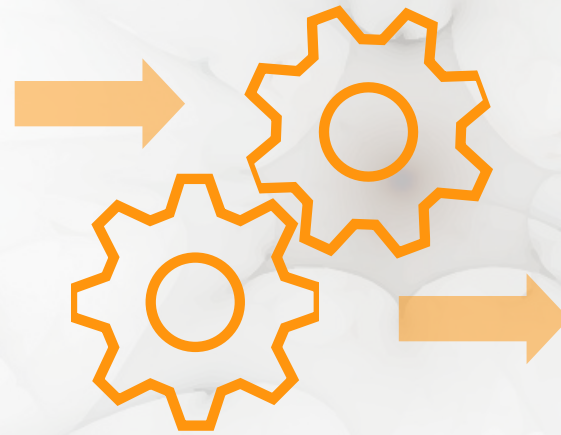


Généralités

- ✓ But :
 - ✓ Lire les lexèmes
 - ✓ Reconnaître les grammaires
 - ✓ Produire un AST (arbre de syntaxe)
- ✓ Entrée :
 - ✓ Une liste de lexèmes
- ✓ Sortie :
 - ✓ Un AST, arbre représentant le programme

Parser - définition

set	keyword
	space
a	ident
=	symbol
7	number
*	symbol
3	number
+	symbol
b	ident

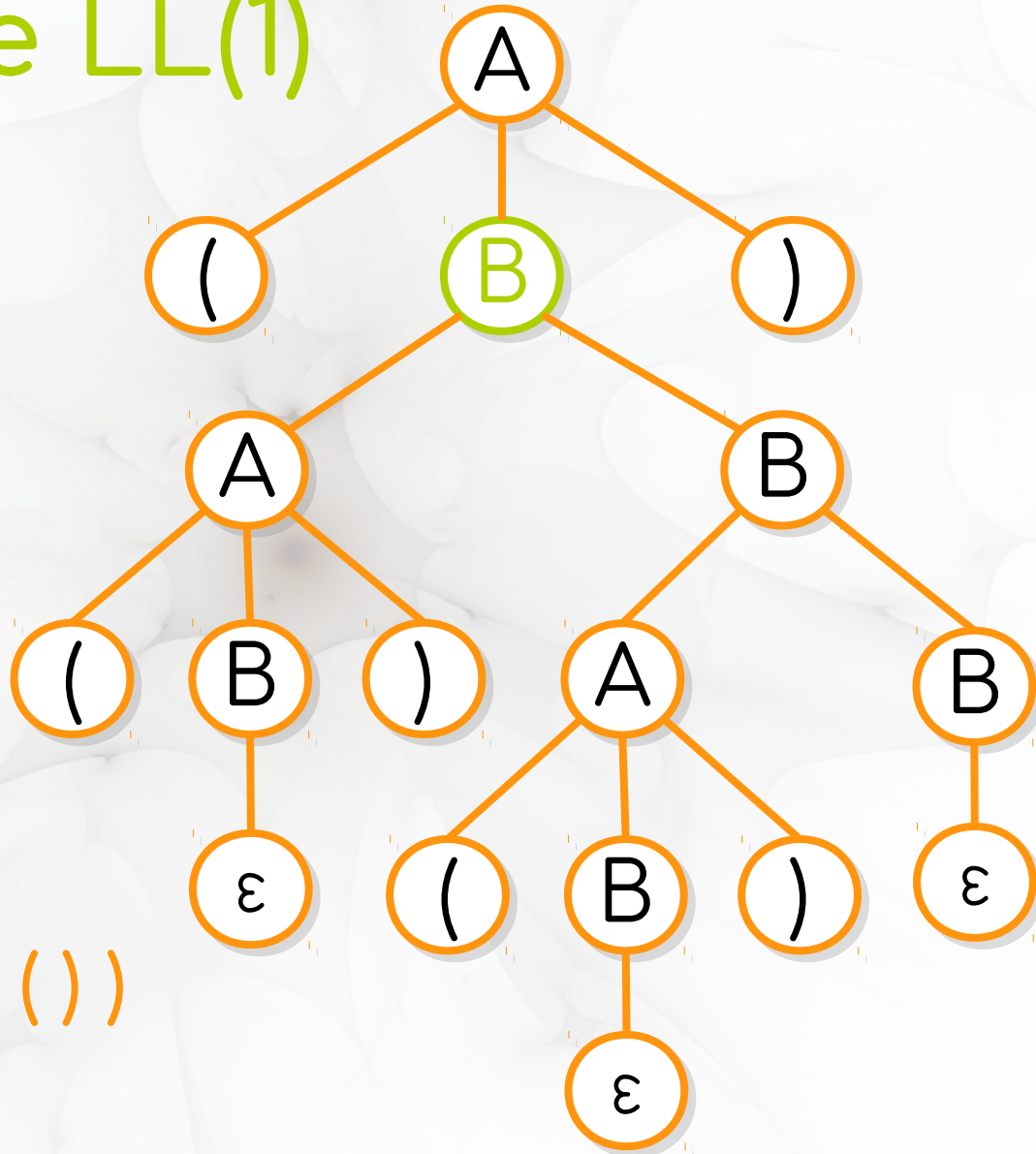


Remarques

- ✓ Consomme le résultat de l'analyseur lexical
- ✓ Utilise généralement un algorithme plus complexe que le LL(0)
- ✓ LL(0) utilisé par BASIC, PASCAL, MsDOS
- ✓ Consommé par l'analyseur sémantique et/ou le codegen
- ✓ Algorithme Récursif : Recursive Descent Parser

Algorithme LL(1)

- ✓ $A \rightarrow (B)$
- ✓ $B \rightarrow AB$ ←
- ✓ $B \rightarrow \varepsilon$



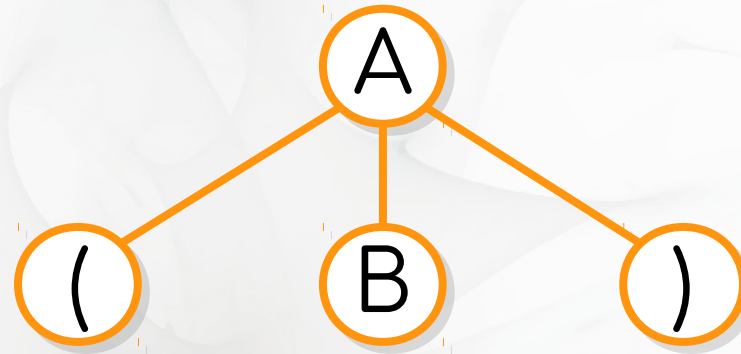
	()	\$
A	$A \rightarrow (B)$	-	-
B	$B \rightarrow AB$	$B \rightarrow \epsilon$	$B \rightarrow \epsilon$

✓ Example : $((())())$

✓ $A \rightarrow (B)$

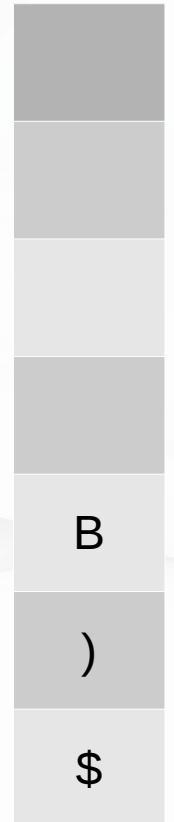
✓ $B \rightarrow AB$

✓ $B \rightarrow \epsilon$

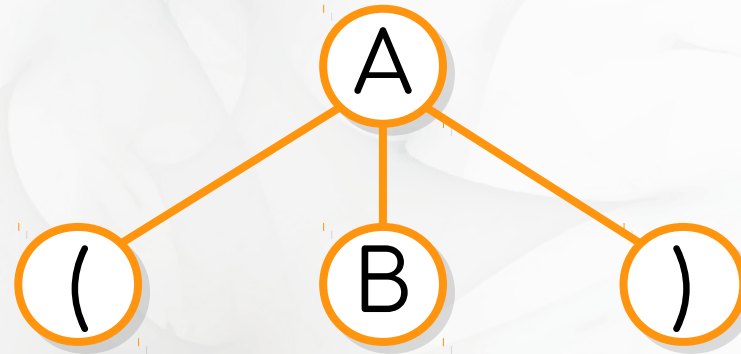


	()	\$
A	$A \rightarrow (B)$	-	-
B	$B \rightarrow AB$	$B \rightarrow \epsilon$	$B \rightarrow \epsilon$

✓ Exemple : $((())())$

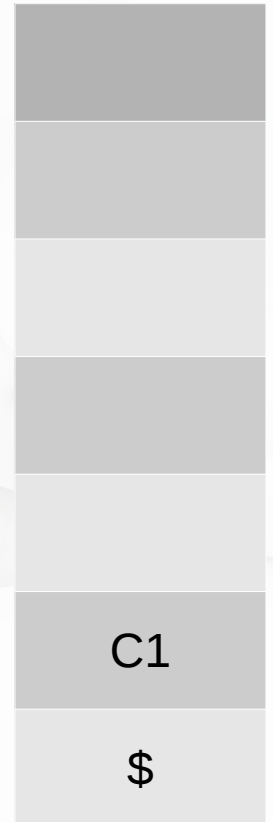


- ✓ $A \rightarrow (B)$
- ✓ $B \rightarrow AB$
- ✓ $B \rightarrow \epsilon$



```

function parseA() {
  parse '('
  parseB() // c1
  parse ')'
}
function parseB() {
  if '(' {
    parseA() // c2
    parseB() // c3
  } else return true
}
    
```



- ✓ Exemple : $((()()))$

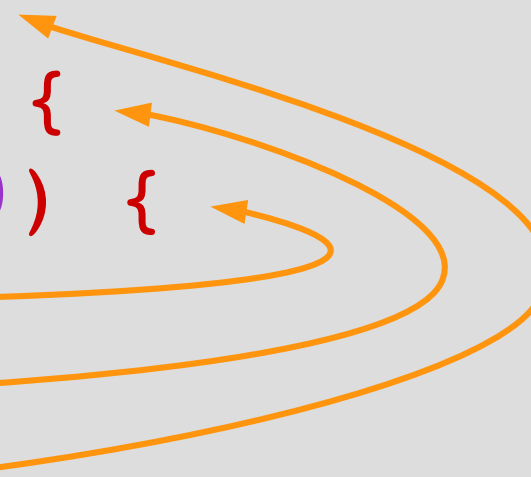
Remarques

- ✓ Tout algorithme récursif peut-être converti en machine à pile
- ✓ Et réciproquement
- ✓ Dans un algorithme récursif, on utilise la pile d'appel des fonctions

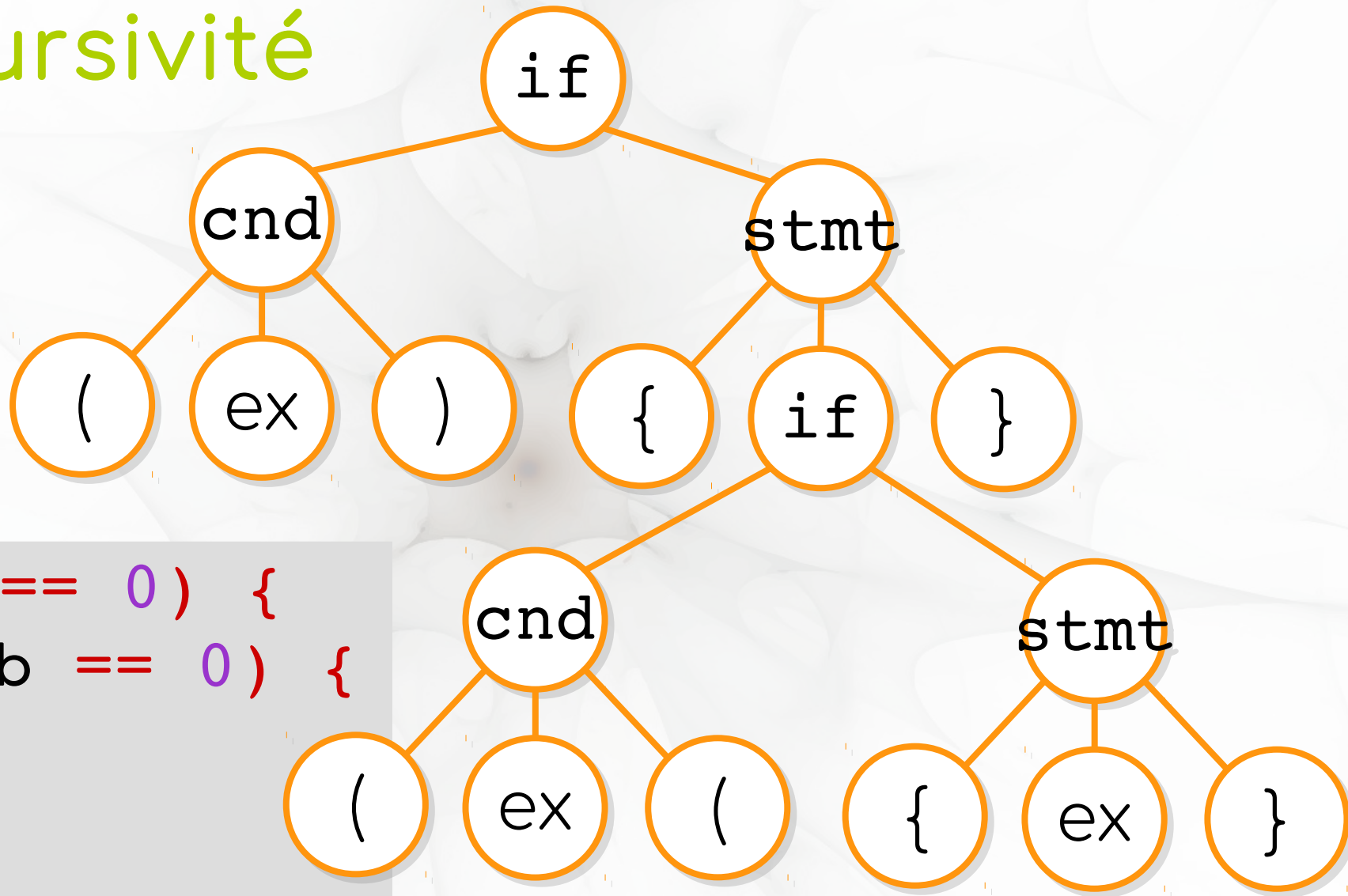
Récurtivité

- ✓ Exemple "bien parenthésé"

```
if (a == 0) {  
    if (b == 0) {  
        if (c == 0) {  
            }  
        }  
    }  
}
```

The diagram illustrates the recursive nature of nested code blocks. It features three orange arrows that curve from the closing curly braces of the innermost, middle, and outermost 'if' blocks back to their respective opening curly braces. This visualizes the return path from each recursive call to the caller, demonstrating a 'well-parenthesized' structure where every opening brace has a corresponding closing brace.

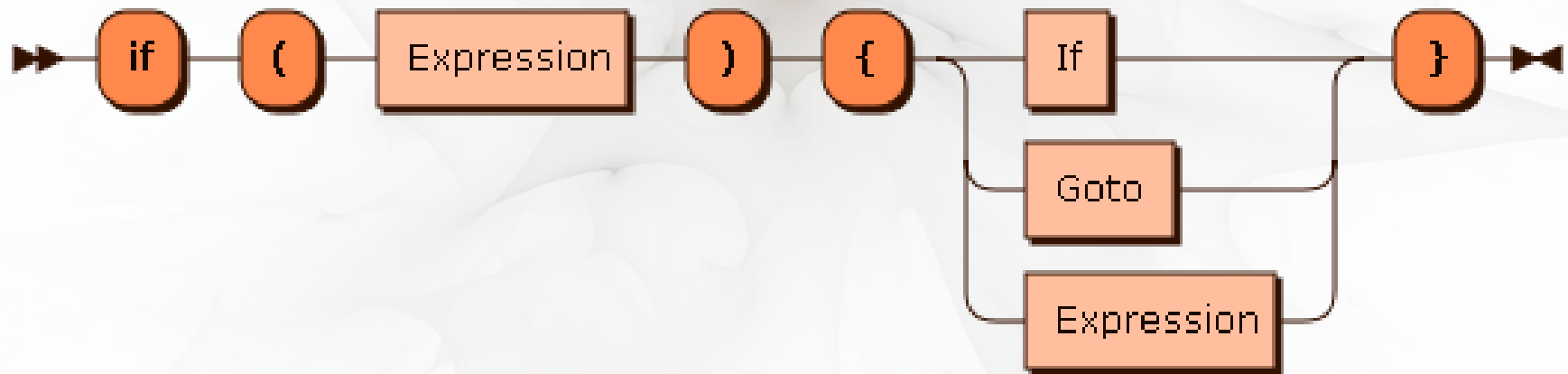
Récurtivité



```
if (a == 0) {  
    if (b == 0) {  
    }  
}
```

Récurtivité

- ✓ Récuratif dans les cas de : structures de contrôle, expressions arithmétiques, blocs de code, appels de fonctions etc....



Exercice

- ✓ Donner la définition d'un analyseur syntaxique capable d'interpréter ce script :

```
if (_var0 < 0.1) { /* test */  
    print ("too small")  
} else {  
    _var0 += 1  
}
```

Réponse

Récuratif

If ::= 'if' '(' Expr ')' Statement ('else' Statement)?

Parameter ::= Call | Expr

Pourquoi ?

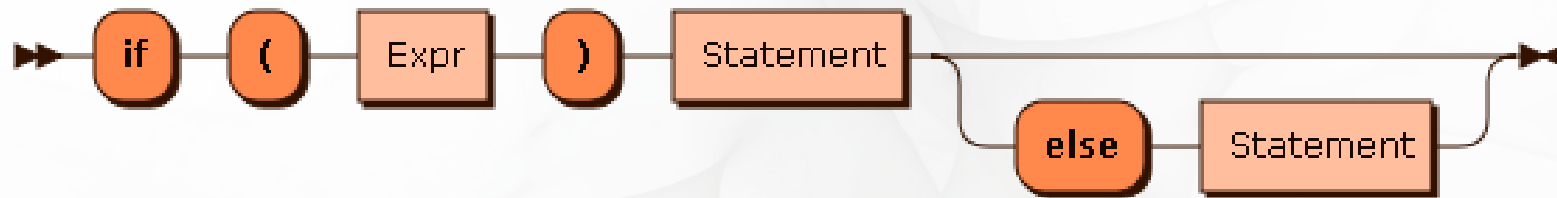
Call ::= Ident '(' (Parameter (',' Parameter)*)? ')'

Statement ::= If | Call | Expr | Block

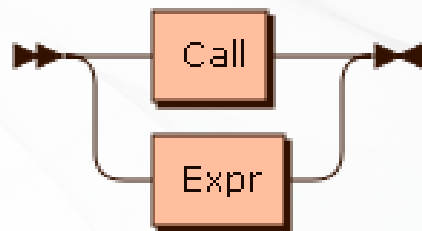
Block ::= '{' Statement* '}'

Recuratif

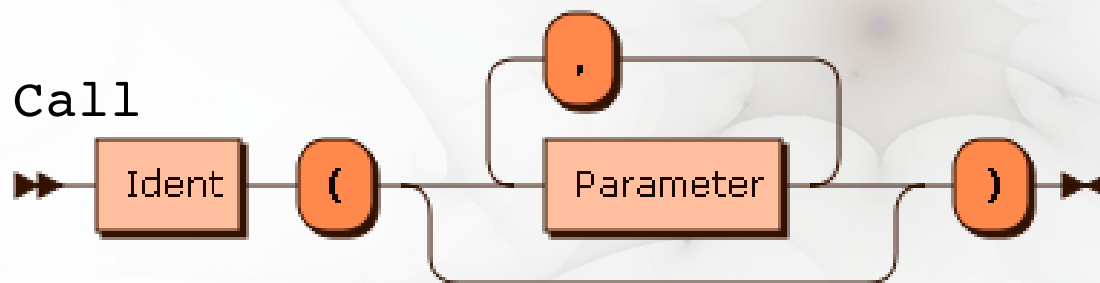
If



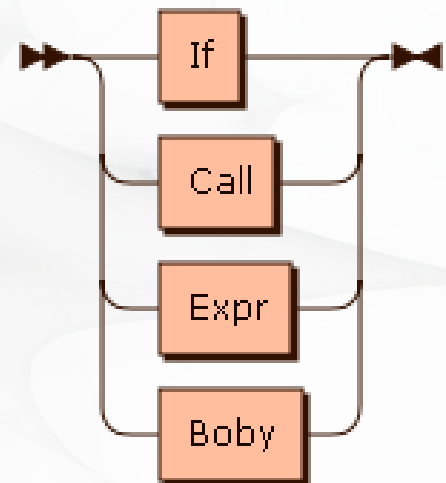
Parameter



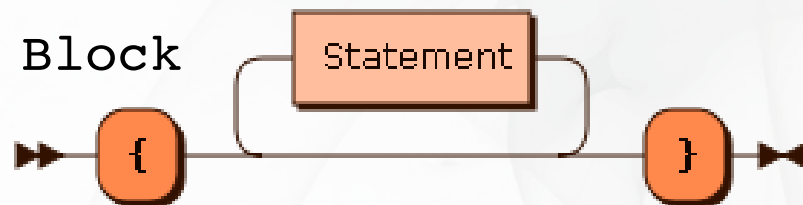
Call



Statement



Block



Algorithmes LL(k) et LL(*)



Limitations

- ✓ Rappel : Les algorithmes LL(0) sont limités
- ✓ Le symbole le plus à gauche (Left most dérivation) est déterminant pour la production
- ✓ Convient à la majeure partie des structures (if, set/let, while, do)
- ✓ Mais pas pour l'arithmétique !

LL1

10 + 10



- ✓ L'analyseur n'est pas capable de savoir, à cet endroit là :
- ✓ S'il est en présence d'un chiffre seul
- ✓ Ou si ce chiffre fait partie d'une opération
- ✓ **Grammaire ambiguë**
- ✓ $S \rightarrow n$
- ✓ $S \rightarrow S + S$
- ✓ ici S commence par un non terminal)

Impossible !

$S \rightarrow S + S$

$S \rightarrow n$

```
function parseSum() {  
  try {  
    parseSum()  
    if (testPlus()) consumePlus()  
    return false  
    parseSum()  
  } catch {  
    if (testNumber()) consumeNumber()  
    return false  
  }  
  return true  
}
```

Pas mieux !

$S \rightarrow n$

$S \rightarrow S + S$

```
function parseSum() {  
  if (testNumber()) consumeNumber()  
  else {  
    parseSum()  
    parsePlus()  
    parseSum()  
  }  
}
```

Solution 1 : Modifier le langage

(+ 10 10)



- ✓ Cas du LISP (John McCarthy 1958)
- ✓ Pas d'ambiguïté, l'opération commence par l'opérateur
- ✓ $S \rightarrow (+ S S)$
- ✓ $S \rightarrow n$

Mieux !

$S \rightarrow + S S$

$S \rightarrow n$

```
function parseSum() {  
    if (testPlus()) {  
        consumePlus()  
        parseSum()  
        parseSum()  
    } else if (testNumber())  
        consumeNumber()  
    else return false  
    return true  
}
```


Solution 2 : Modifier la grammaire

10 + 10



- ✓ $S \rightarrow n F$
- ✓ $F \rightarrow + S$
- ✓ $F \rightarrow \varepsilon$
- ✓ Suppression de la récursivité à gauche

Mieux !

$S \rightarrow n F$

$F \rightarrow + S$

$F \rightarrow \varepsilon$

```
function parseSum() {  
    if (testNumber()) consumeNumber()  
    else return false  
  
    if (testPlus()) {  
        consumePlus()  
        parseSum()  
    }  
    return true  
}
```

Cas Général

- ✓ Suppression de la récursivité à gauche
 - ✓ Immédiate : $A \rightarrow A\alpha$, $\alpha \in (T \cup N)^+$
 - ✓ Générale : $A \rightarrow ^*A\alpha$, $\alpha \in (T \cup N)^+$
- ✓ Il est possible de supprimer les deux cas par transformation de la grammaire

Récurtivité immédiate

✓ On remplace les règles de la forme :

✓ $X \rightarrow X\alpha_1 \mid \dots \mid X\alpha_n \mid \beta_1 \mid \dots \mid \beta_m$

✓ Par les règles :

✓ $X \rightarrow \beta_1 X' \mid \dots \mid \beta_m X'$

✓ $X' \rightarrow \alpha_1 X' \mid \dots \mid \alpha_n X' \mid \varepsilon$

Exercice

✓ Supprimer la récursivité à gauche de :

✓ $E \rightarrow E + T \mid T$

$$T \rightarrow T * F \mid F$$

$$F \rightarrow i \mid (E)$$

✓ $X \rightarrow X\alpha_1 \mid \dots \mid X\alpha_n \mid \beta_1 \mid \dots \mid \beta_m$

✓ $X \rightarrow \beta_1 X' \mid \dots \mid \beta_m X'$

✓ $X' \rightarrow \alpha_1 X' \mid \dots \mid \alpha_n X' \mid \varepsilon$

Solution

✓ $E \rightarrow T E'$

$$E' \rightarrow + T E' \mid \varepsilon \quad (\text{ou } E' \rightarrow + \textcolor{orange}{E} \mid \varepsilon)$$

$$T \rightarrow F T'$$

$$T' \rightarrow * F T' \mid \varepsilon \quad (\text{ou } T' \rightarrow + \textcolor{orange}{T} \mid \varepsilon)$$

$$F \rightarrow i \mid (E)$$

✓ $X \rightarrow \beta_1 X' \mid \dots \mid \beta_m X'$

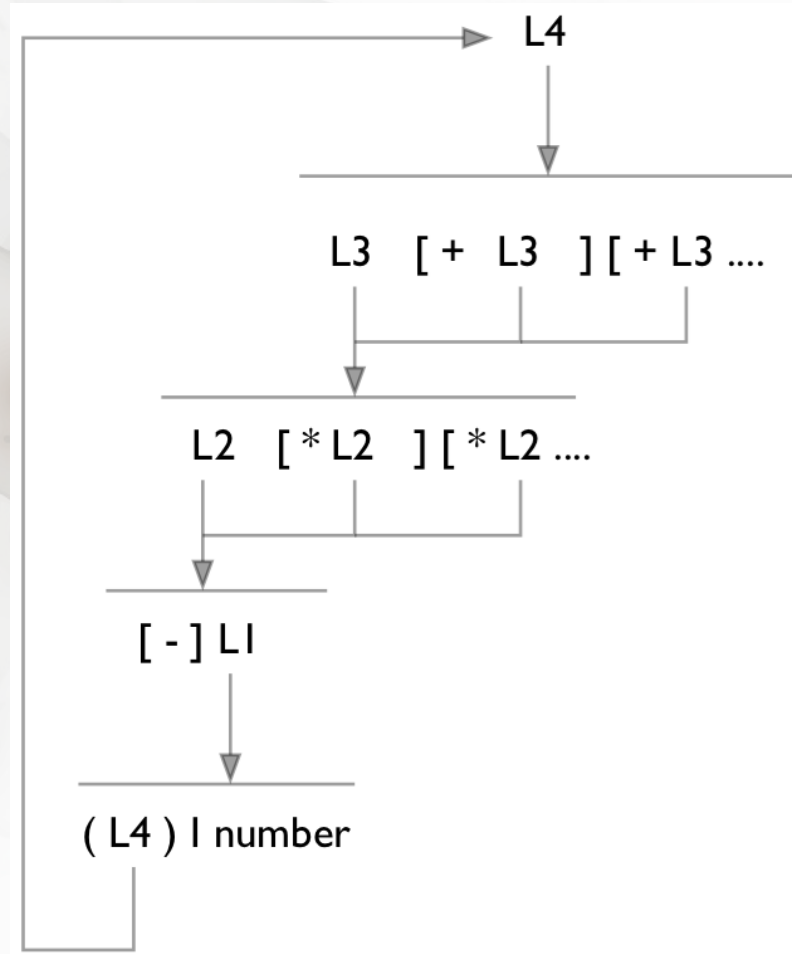
$$X' \rightarrow \alpha_1 X' \mid \dots \mid \alpha_n X' \mid \varepsilon$$

Précédence des opérateurs

✓ $E \rightarrow E + T \mid T$

$$T \rightarrow T * F \mid F$$
$$F \rightarrow (E) \mid i$$

✓ ex : $(3 + 7 * 2) + 4$

$$E \rightarrow E + T$$
$$E \rightarrow T, T \rightarrow F, F \rightarrow (E)$$
$$E \rightarrow E + T, T \rightarrow T * F$$


Solution 3 : Lookahead

10 + 10



lookahead

- ✓ Un lookahead de 2 permettrait de définir la production (chiffre ou addition)
- ✓ Lorsque l'algorithme est face à un choix de production, il lance une prédiction
- ✓ $S \rightarrow n (+ S) ^ *$

Mieux !

10 + 10



lookahead

✓ $S \rightarrow n (+ S)^*$

```
function parseSum() {  
    if (!testNumber()) return  
    moveForwardLL()  
    if (!testPlus()) return  
    moveBackwardLL()  
  
    parseNumber()  
    parsePlus()  
    parseSum()  
}
```

Algorithmes LL(k), LL(*) et LR



Solution 3 : Lookahead

10 + 10



lookahead

- ✓ Un look ahead de 2 permettrait de définir la production (chiffre ou addition)
- ✓ Lorsque l'algorithme est face à un choix de production, il lance une prédiction
- ✓ $S \rightarrow n (+ S) ^ *$

Mieux !

10 + 10



lookahead

✓ $S \rightarrow n (+ S)^*$

```
function parseSum() {  
    if (!testNumber()) return  
    moveForwardLL()  
    if (!testPlus()) return  
    moveBackwardLL()  
  
    parseNumber()  
    parsePlus()  
    parseSum()  
}
```

LL(k) et LL(*)

- ✓ L'algorithme LL(0) est un cas particulier de LL(k)
 - ✓ $k = 0$, pas de look ahead
 - ✓ LL(k) est un cas particulier de LL(*)
 - ✓ k est fini alors que $*$ est infini
-
- ✓ antLR v1 \rightarrow LL(1)
 - ✓ JavaC \rightarrow LL(k)
 - ✓ antLR v3 \rightarrow LL(*)

Prédictibilité

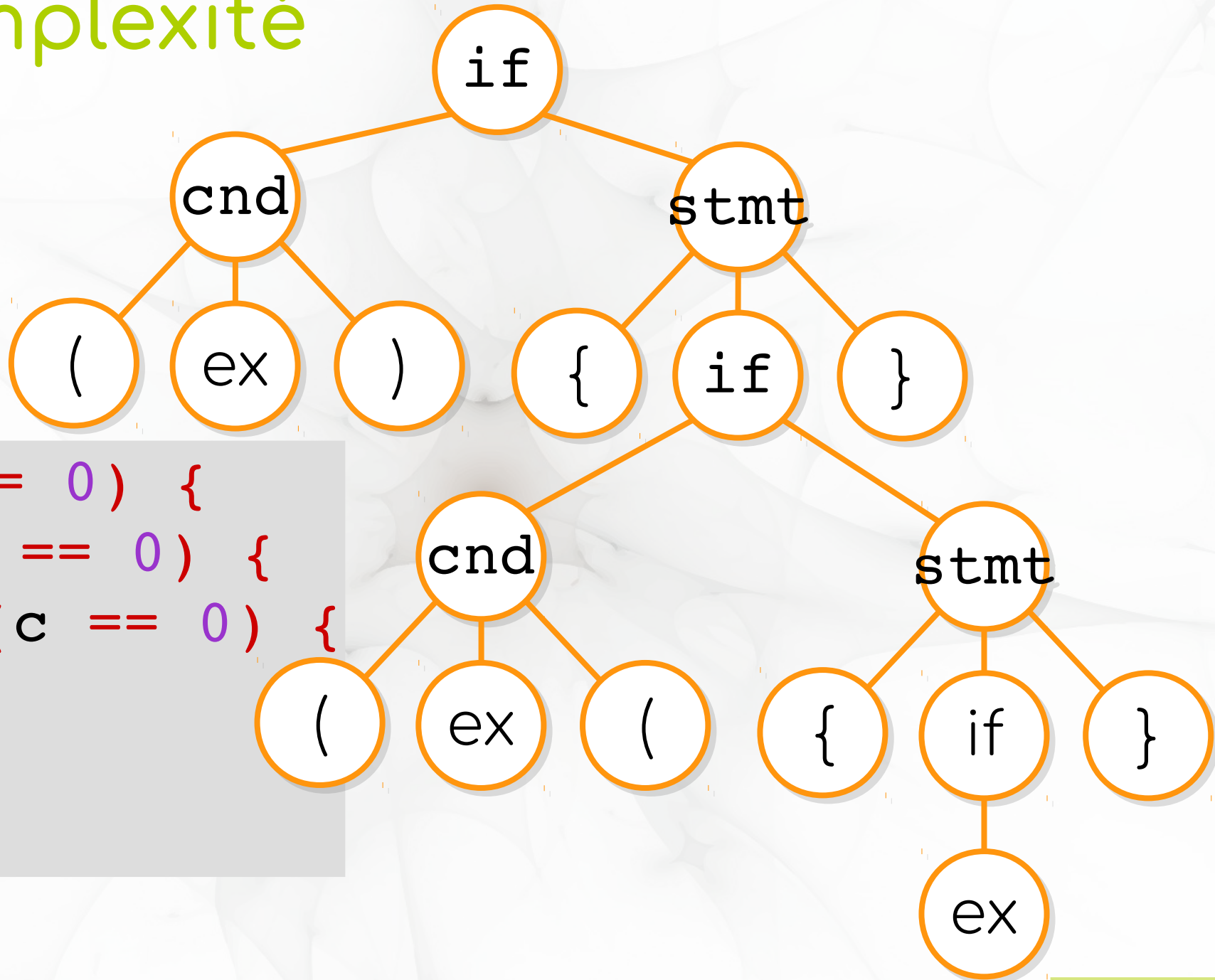
- ✓ Principe : lors d'une décision, l'algorithme lance une prédiction
- ✓ c'est-à-dire un algorithme récursif qui ne consomme pas et ne produit pas

```
function predictSum() {  
    if (testNumber()) {  
        moveForward()  
  
        if (testPlus()) {  
            moveForward()  
  
            if (predictSum())  
                return true  
  
            moveBackward()  
        }  
        moveBackward()  
    }  
    return false  
}
```

Limitations

- ✓ L'algorithme $LL(*)$ refuse toujours la récursivité gauche.
- ✓ De plus sa complexité est exponentielle

Complexité



```
if (a == 0) {  
    if (b == 0) {  
        if (c == 0) {  
        }  
    }  
}
```


Solution : Packrat

- ✓ Utiliser un cache.
- ✓ Pour chaque décision, stocker une paire clé (position), valeur (décision)
- ✓ Utiliser le cache lors du prochain passage
- ✓ Garantie que l'évaluation n'aura lieu qu'une seule fois
- ✓ Algorithme **Packrat**
- ✓ Complexité presque linéaire

Analysér LR



Généralités

- ✓ Inventé par Donald Knuth en Juillet 1965
- ✓ Left To Right, Right most derivation
- ✓ LL : Approche Top Down
- ✓ LR : Approche Bottom Up

Analyseur LR

- ✓ Inventé par Donald Knuth
- ✓ en Juillet 1965
- ✓ Left To Right, Right most derivation
- ✓ LL : Approche Top Down
- ✓ LR : Approche Bottom Up



Donald Knuth
1938

Analyseur LR

- ✓ 2 structures :
 - ✓ Flot d'entrée
 - ✓ Pile
- ✓ 4 opérations :
 - ✓ **Shift** : transfert du flot d'entrée vers la pile
 - ✓ **Reduce** : On reconnait sur le sommet de la pile une partie droite d'une production, on la remplace par la partie gauche
 - ✓ **Erreur** : Arrêt et signalement d'une erreur
 - ✓ **Accept** : Arrêt, phrase reconnu

Exemple : SLR

- ✓ Simple LR parser ou LR(0)
- ✓ Soit le flot d'entrée : $10 + 10 + 10$
- ✓ Et la grammaire :
$$E \rightarrow E + T \mid T$$
$$T \rightarrow n$$

$$E \rightarrow E + T \mid T$$

$$T \rightarrow n$$

	10 + 10 + 10	shift
10	+ 10 + 10	reduce
T	+ 10 + 10	reduce
E	+ 10 + 10	shift
E +	10 + 10	shift
E + 10	+ 10	reduce
E + T	+ 10	reduce
E	+ 10	shift
E +	10	shift
E + 10		reduce
E + T		reduce
E		accept

LALR

- ✓ LALR – Look-Ahead LR Parser
- ✓ Analyseur avec anticipation
- ✓ Permet un ensemble de grammaire plus grand
- ✓ Fonctionnement de YaCC
- ✓ Permet de résoudre l'ambiguïté :
- ✓ $S \rightarrow L \bullet = R$ (Curseur •)
- ✓ $R \rightarrow L \bullet$

$$E \rightarrow E + T \mid T$$

$$T \rightarrow n$$

	10 + 10 + 10	shift
10	+ 10 + 10	reduce
T	+ 10 + 10	shift
T +	10 + 10	shift
T + 10	+ 10	reduce
T + T	+ 10	shift (*)
T + T +	10	shift
T + T + 10		reduce
T + T + T		reduce (*)
T + T + E		reduce
T + E		reduce
E		accept

Compilateurs de compilateurs

- ✓ Les analyseurs LR sont trop complexes à écrire à la main
- ✓ Généralement construits par des générateurs d'analyseur (compilateurs de compilateurs)
- ✓ Crée une table d'analyse
 - ✓ Action, les actions à faire en fonction des symboles rencontrés
 - ✓ Transition, les branchements

Les algorithmes

- ✓ Deux grandes familles d'algorithmes :
- ✓ $LL \rightarrow LL(0), LL(k), LL(*), \text{Packrat}, \text{PEG (Parsing Expression Grammar)}$
- ✓ $LR \rightarrow \text{SLR (Simple LR)}, \text{LALR (Look Ahead LR)}, \text{GLR}$

Arbre syntaxique abstrait (AST)

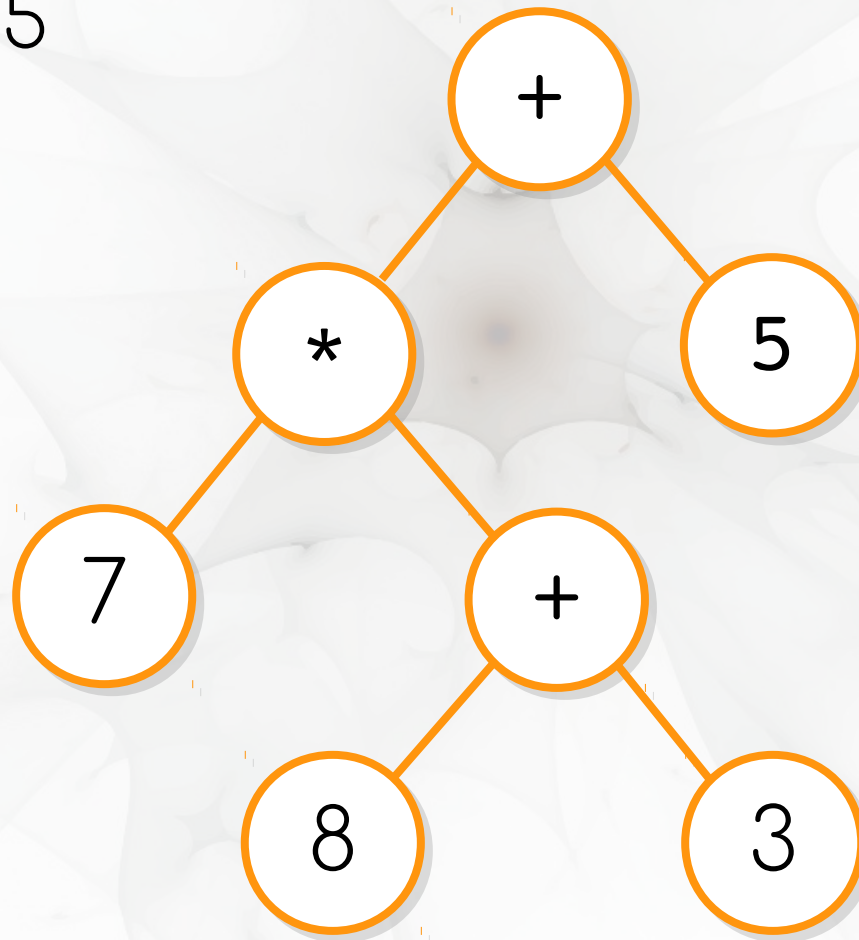


AST : Arbre syntaxique

- ✓ En : Abstract Syntax Tree
- ✓ Arbre logique qui représente la structure du programme
- ✓ Ses nœuds sont des opérateurs et ses feuilles des opérandes (variables ou constantes)
- ✓ Une production grammaticale produit un nœud de l'arbre

Example

$$7 * (8 + 3) + 5$$



Production

Expression E

Terme T

$E \rightarrow E * E$

$E \rightarrow E + E$

$E \rightarrow T$

$T \rightarrow (E)$

$T \rightarrow \text{int}$

7 * (8 + 3)



AST - Parcours

- ✓ CodeGen arithmétique → LISP

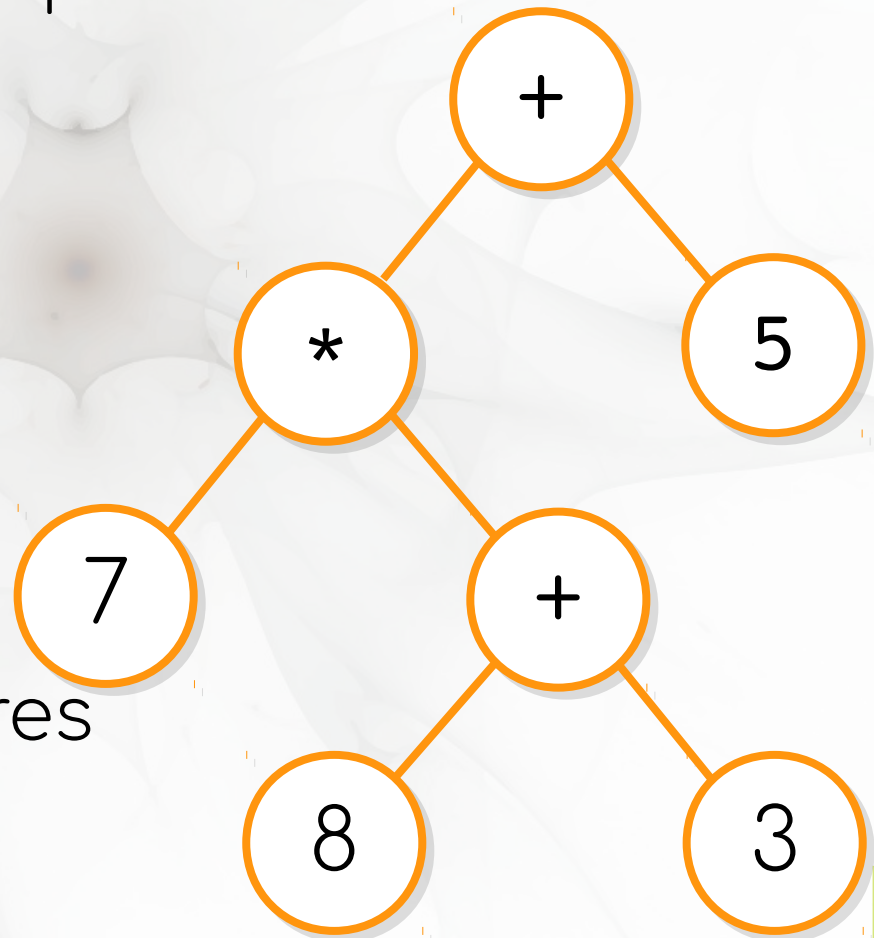
- ✓ $7 * (8 + 3) + 5$

- ✓ LISP :

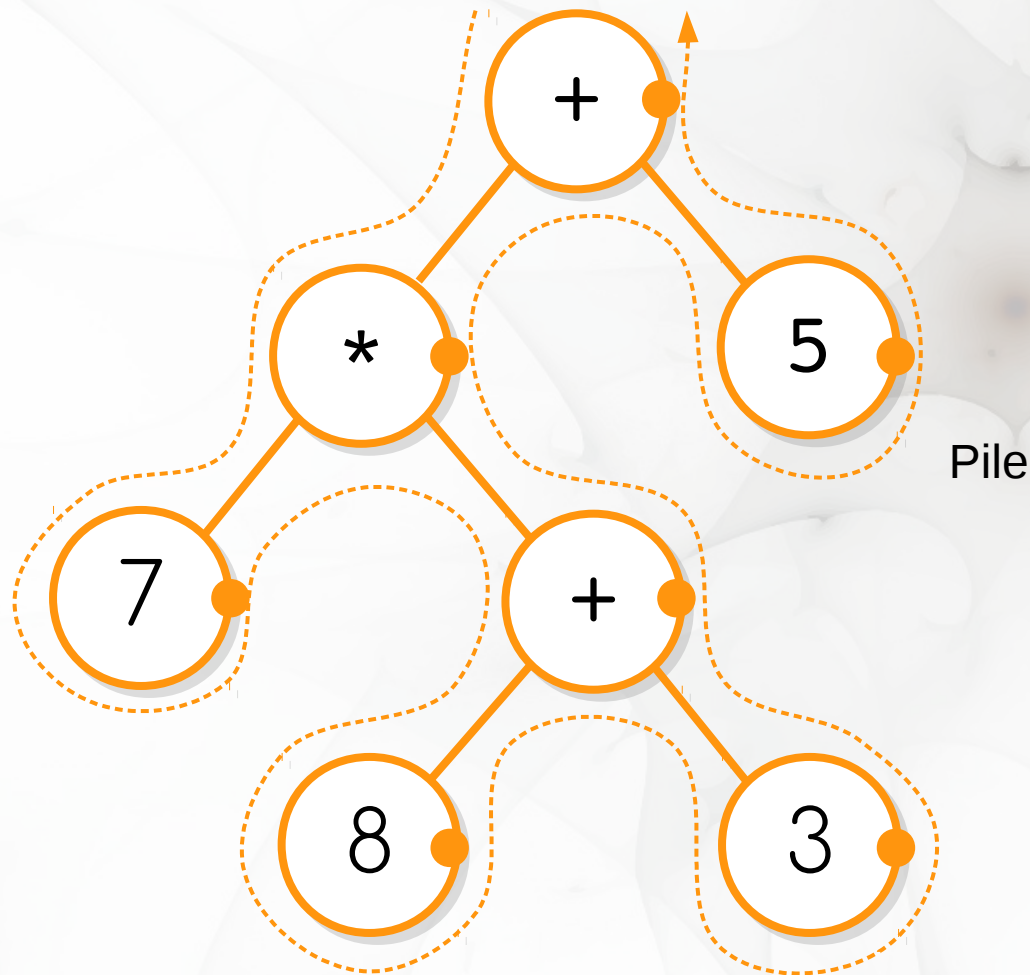
- ✓ $(+ (* 7 (+ 8 3)) 5)$

- ✓ Cf : Parcours d'arbres

- ✓ Cf : Demo Algo



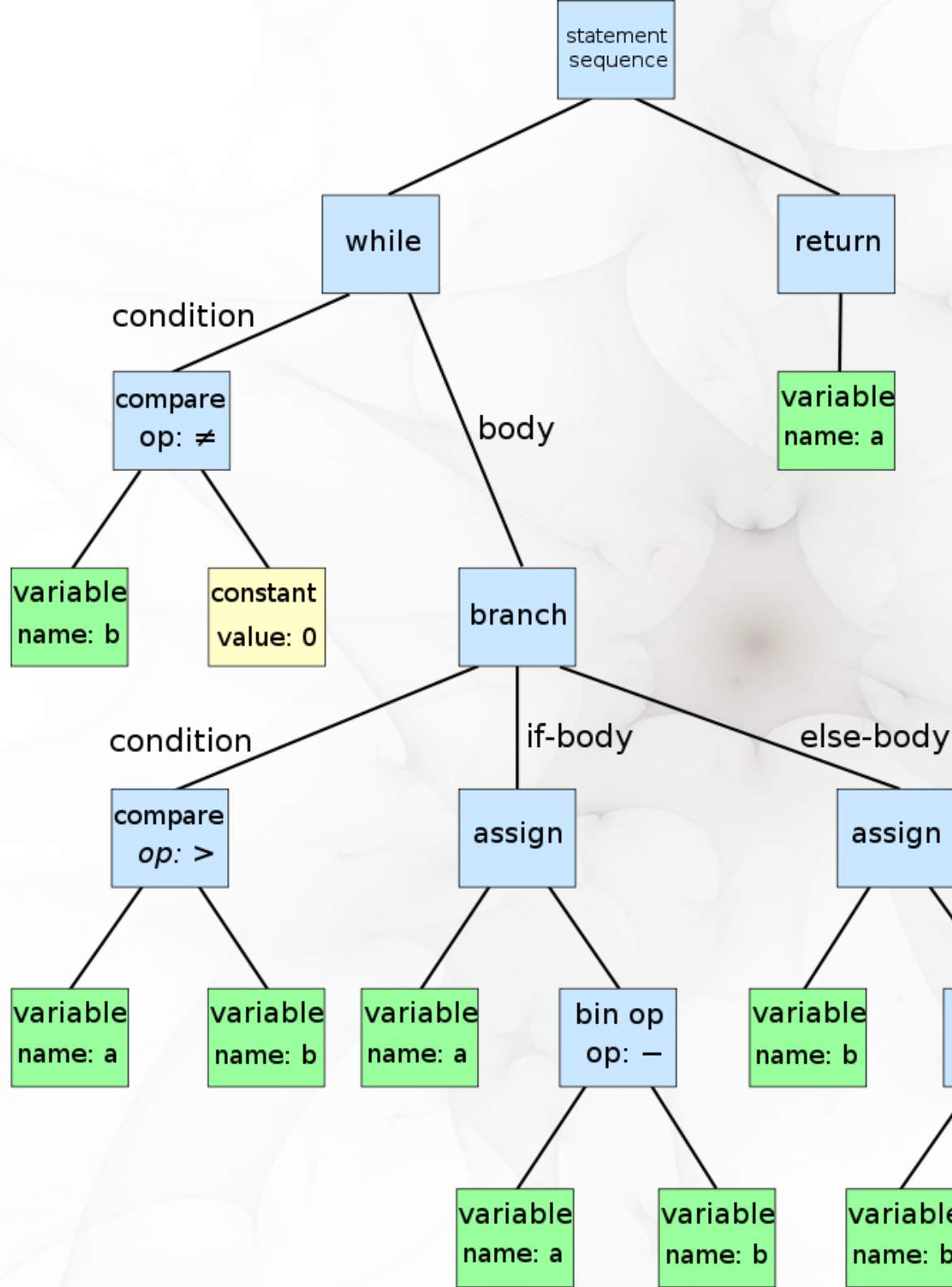
AST - Parcours



Pile

			+					
		3	3		*		+	
	8	8	8	11	11		5	
7	7	7	7	7	7	77	77	82

Temps



while $b \neq 0$

if $a > b$

$a := a - b$

else

$b := b - a$

return a

Grammaires ambiguës

- ✓ Définition : une grammaire ambiguë c'est lorsque qu'une grammaire peut engendrer deux arbres différents
- ✓ Exemple : `if - if - else` (à quel `if` correspond le `else`)
- ✓ Solution : le Parsing Expression Grammar
 - ✓ Dans le cas d'une grammaire ambiguë, le PEG va choisir la première qui correspond
 - ✓ En réalité proche du programme et non de la théorie

Précédence

$E \rightarrow E * E$

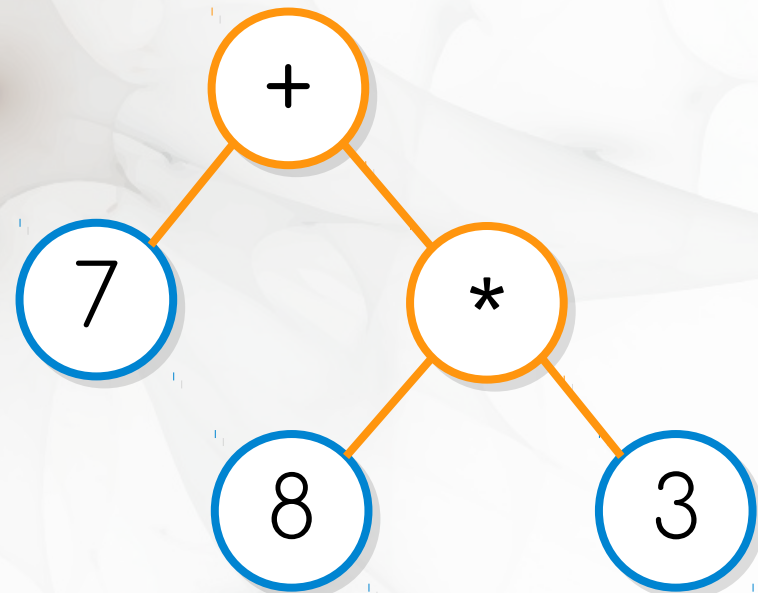
$E \rightarrow E + E$

$E \rightarrow T$

$T \rightarrow (E)$

$T \rightarrow \text{int}$

$7 + 8 * 3$



Précédence

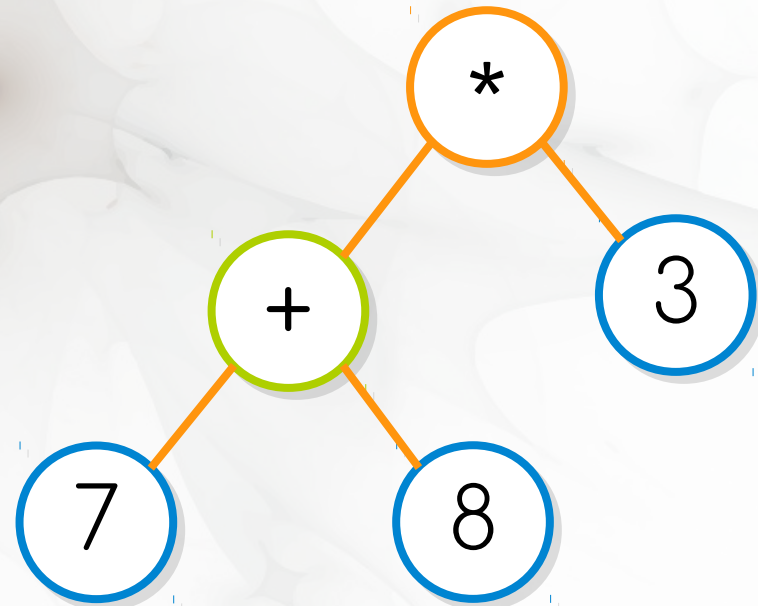
$M \rightarrow A * M$

$A \rightarrow T + A$

$T \rightarrow (E)$

$T \rightarrow \text{int}$

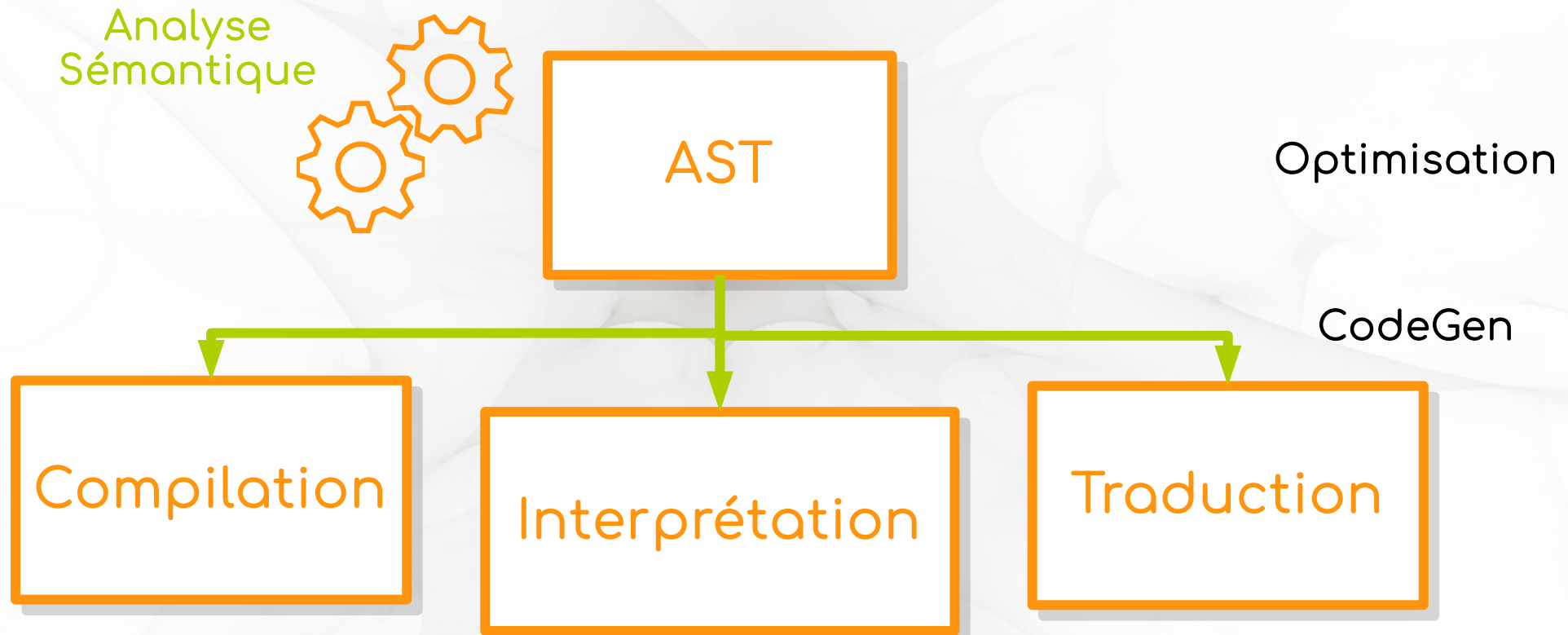
$7 + 8 * 3$



Pourquoi un AST ?

- ✓ L'interprétation directe oblige de ré-analyser lors de chaque itération
- ✓ Offre l'opportunité d'optimisations (analyse sémantique)
- ✓ Offre l'opportunité de vérifications
- ✓ Peut être réutilisé
- ✓ Plusieurs cibles
 - ✓ Compilation
 - ✓ Interprétation
 - ✓ Traduction

Et après



Merci de votre attention

