# Compilation : grammaires attribuées

Arnaud Labourel

Section 1

# Introduction

# Traduction guidée par une grammaire abstraite

**Sortie de l'analyse via une grammaire :** Arbre de dérivation

Comment utiliser cet arbre pour produire le code cible ?

## Difficultés

L'arbre de dérivation possède souvent des nœuds superflus (sans information) comme :

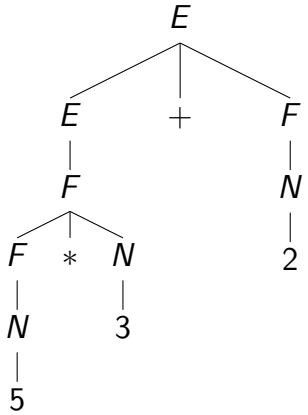
- les nœuds pour gérer les priorités d'opérateurs
- les nœuds pour gérer les listes d'éléments
- ...

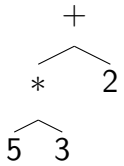
Un *arbre abstrait* constitue une interface plus naturelle entre l'analyse syntaxique et l'analyse sémantique, elle ne garde de la structure syntaxique que les parties nécessaires à l'analyse sémantique et à la production de code.

# Arbre de dérivation vs arbre abstrait

$G = \langle \{E\}, \{a, b\}, \{E \to E + F | F, F \to F * N | N, N \to 0|1|\cdots|9\}, S \rangle$

Mot : $5 * 3 + 2$



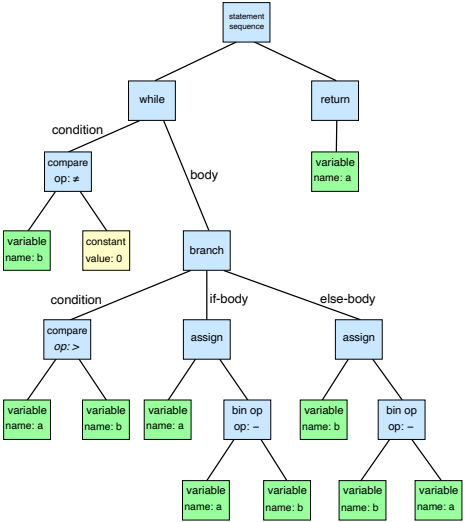



# Exemple arbre de la syntaxe abstraite (AST)

```
while b != 0:
    if a > b:
        a = a - b
    else:
        b = b - a
return a
```

**Principes :**

- Omission des nœuds inutiles (parenthèse, séparateurs, ...)
- Nœuds internes : opérateurs/structure de contrôle
- Feuilles : variables, littéraux, ...



# Création de l'arbre abstrait

La création de l'arbre abstrait peut avoir lieu :

- *pendant* l'analyse qui produit l'arbre de dérivation
- après celle-ci en parcourant l'arbre

Pour cela, nous utilisons un formalisme appelé *grammaire attribuée*

Plus généralement, ce formalisme permet d'effectuer des calculs en même temps que la construction de l'arbre de dérivation

## Principe

On va définir des règles à appliquer sur des attributs lors de la visite de chaque nœud de l'arbre.

Section 2

# Grammaire attribuée : attributs synthétisés

# Définition de la notion de grammaire attribuée

Une *grammaire attribuée* est une grammaire avec des actions sémantiques attachées aux règles

- Les *actions sémantiques* sont des affectations qui manipulent des attributs
- Un *attribut* est une variable quelconque associée à une construction du langage décrit par la grammaire, par exemple :
  - le type d'une expression
  - la valeur d'une expression
  - la ligne du programme (pour débogage)
  - un nœud de l'arbre abstrait
- On associe les attributs aux symboles terminaux et non terminaux de la grammaire.

## Notations

$A.t$ est l'attribut $t$ associé au symbole $A$.

# Exemple d'actions sémantiques

| règle | action sémantique |
|---|---|
| $A \rightarrow A\ a$ | $A.n = A_1.n + 1$ |
| $A \rightarrow \varepsilon$ | $A.n = 0$ |

- L'attribut $n$ est défini pour le symbole $A$
- $A.n$ est initialisé à 0 lors du parcours de la feuille $\varepsilon$
- À chaque fois qu'on voit un $a$, la valeur de $A.n$ est incrémentée de 1 par rapport à sa valeur en partie droite de production $A_1.n$
- La valeur de $A.n$ à la racine de l'arbre est le nombre de $a$ du mot $\Longrightarrow$ cet attribut compte le nombre de $a$ qui se suivent

**Convention** : quand une règle contient plusieurs instances du même symbole, les instances en partie droite sont numérotées $1, 2, \ldots$ pour distinguer les symboles. Le symbole en partie gauche est celui sans indice. Il s'agit bien du même symbole $A$ et non pas de symboles différents.

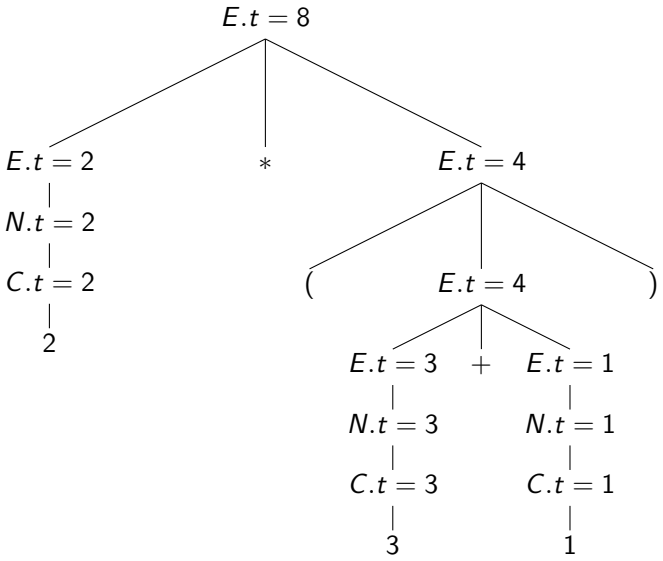
# Exemple de grammaire attribuée : calculette

| règle | | | action sémantique | | |
|---|---|---|---|---|---|
| E | $\rightarrow$ | E + E | $E.t$ | $=$ | $E_1.t + E_2.t$ |
| E | $\rightarrow$ | E * E | $E.t$ | $=$ | $E_1.t * E_2.t$ |
| E | $\rightarrow$ | (E) | $E.t$ | $=$ | $E_1.t$ |
| E | $\rightarrow$ | N | $E.t$ | $=$ | $N.t$ |
| N | $\rightarrow$ | N C | $N.t$ | $=$ | $10 * N_1.t + C.t$ |
| N | $\rightarrow$ | C | $N.t$ | $=$ | $C.t$ |
| C | $\rightarrow$ | 0 | $C.t$ | $=$ | 0 |
| C | $\rightarrow$ | 1 | $C.t$ | $=$ | 1 |
| C | $\rightarrow$ | 2 | $C.t$ | $=$ | 2 |
| | ... | | | ... | |
| C | $\rightarrow$ | 9 | $C.t$ | $=$ | 9 |

**Attention**

$E_1$ et $E_2$ sont des instances du non terminal $E$ et non des symboles différents. Il est nécessaire de les distinguer afin de distinguer les traductions qui leur sont associées.

# Exemple évaluation sur $2 * (3 + 1)$



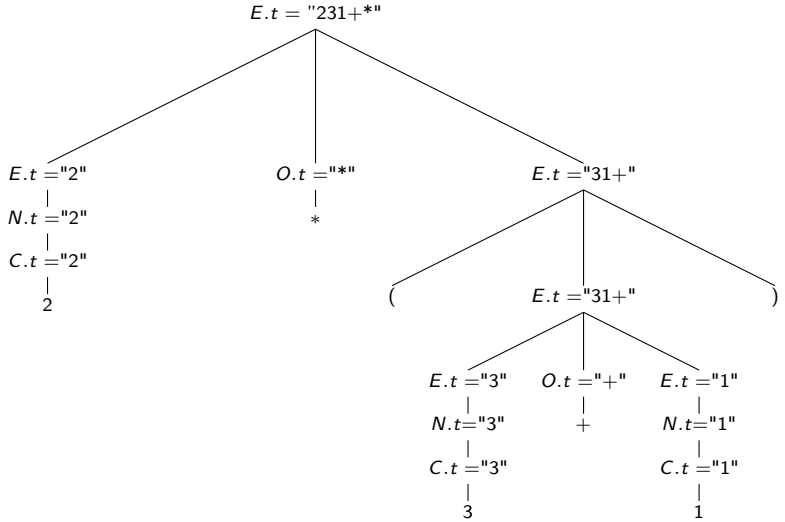
# Exemple de grammaire attribuée : notation post-fixée

| règle | | | action sémantique | | |
|---|---|---|---|---|---|
| E | $\rightarrow$ | E O E | $E.t$ | $=$ | $E_1.t \mid\mid E_2.t \mid\mid O.t$ |
| E | $\rightarrow$ | (E) | $E.t$ | $=$ | $E_1.t$ |
| E | $\rightarrow$ | N | $E.t$ | $=$ | $N.t$ |
| O | $\rightarrow$ | $+$ | $O.t$ | $=$ | $+$ |
| O | $\rightarrow$ | $-$ | $O.t$ | $=$ | $-$ |
| N | $\rightarrow$ | C N | $N.t$ | $=$ | $C.t \mid\mid N_1.t$ |
| N | $\rightarrow$ | C | $N.t$ | $=$ | $C.t$ |
| C | $\rightarrow$ | 0 | $C.t$ | $=$ | 0 |
| C | $\rightarrow$ | 1 | $C.t$ | $=$ | 1 |
| C | $\rightarrow$ | 2 | $C.t$ | $=$ | 2 |
| | ... | | | ... | |
| C | $\rightarrow$ | 9 | $C.t$ | $=$ | 9 |

**Notation**

|| dénote la concaténation

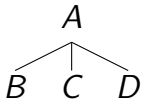
# Exemple notation post-fixée sur $2 * (3 + 1)$



# Attributs synthétisés

Un attribut est dit *synthétisé* si sa valeur au niveau d'un nœud $A$ d'un arbre d'analyse est déterminée par les valeurs de cet attribut au niveau des *fils* de $A$ et de $A$ lui-même.

$$A.t = f(B.t, C.t, D.t)$$




- Les attributs synthétisés peuvent être évalués au cours d'un parcours *ascendant* de l'arbre de dérivation.
- Un tel parcours peut être effectué simultanément à la construction de l'arbre (lors de l'analyse syntaxique).
- Dans l'exemple, $B.t$, $C.t$ et $D.t$ doivent être calculés *avant* de calculer $A.t$.
- La grammaire est dite *S-attribuée*.

# Exemple S-attribué : calculette

- La grammaire attribuée évalue la valeur des expressions
- La valeur finale se retrouve à la racine de l'arbre de dérivation
- Implémente précédences et associativité gauche
- La grammaire est S-attribué (uniquement attributs synthétisés)
- On peut évaluer l'expression en même temps qu'on la dérive

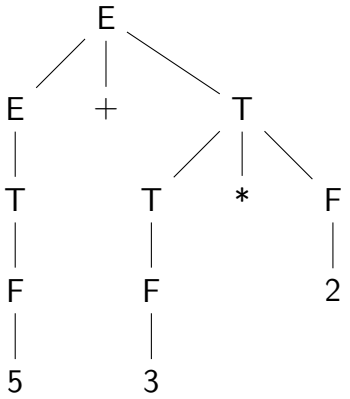
| règle | | | action sémantique | | |
|---|---|---|---|---|---|
| E | $\rightarrow$ | E + T | $E.v$ | $=$ | $E_1.v + T.v$ |
| E | $\rightarrow$ | E - T | $E.v$ | $=$ | $E_1.v - T.v$ |
| E | $\rightarrow$ | T | $E.v$ | $=$ | $T.v$ |
| T | $\rightarrow$ | T * F | $T.v$ | $=$ | $T_1.v \times F.v$ |
| T | $\rightarrow$ | T / F | $T.v$ | $=$ | $T_1.v \div F.v$ |
| T | $\rightarrow$ | F | $T.v$ | $=$ | $F.v$ |
| F | $\rightarrow$ | ( E ) | $F.v$ | $=$ | $E.v$ |
| F | $\rightarrow$ | n | $F.v$ | $=$ | $n$ |

# Test 1 : précédence des opérateurs

Mot : $5 + 3 * 2$
Expression à calculer :
$5 + (3 \times 2) = 11$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

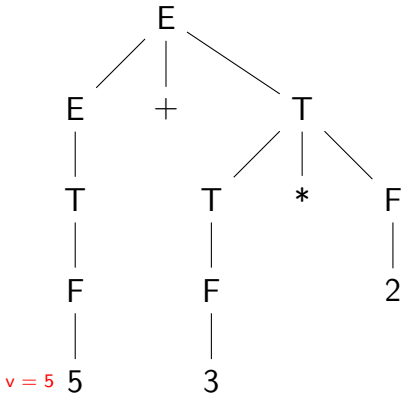


# Test 1 : précédence des opérateurs

Mot : 5 + 3 * 2
Expression à calculer :
$5 + (3 \times 2) = 11$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

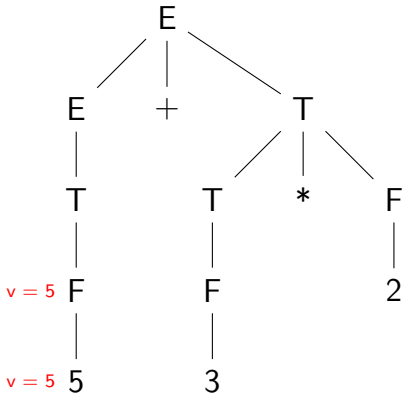


# Test 1 : précédence des opérateurs

Mot : 5 + 3 * 2
Expression à calculer :
$5 + (3 \times 2) = 11$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

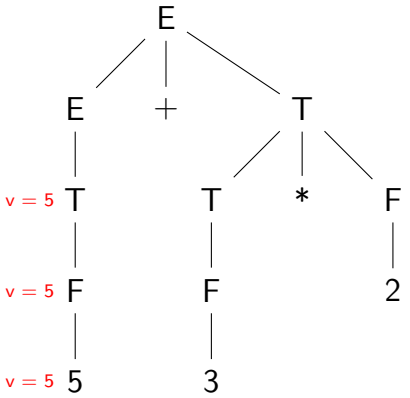


# Test 1 : précédence des opérateurs

Mot : 5 + 3 * 2
Expression à calculer :
$5 + (3 \times 2) = 11$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

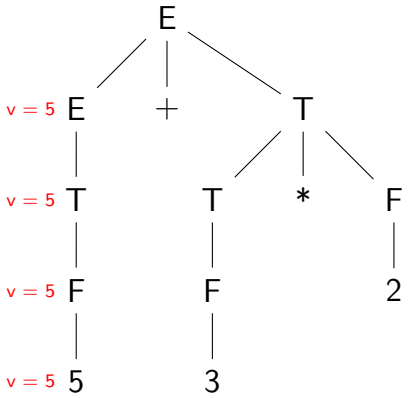


# Test 1 : précédence des opérateurs

Mot : 5 + 3 * 2
Expression à calculer :
$5 + (3 \times 2) = 11$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

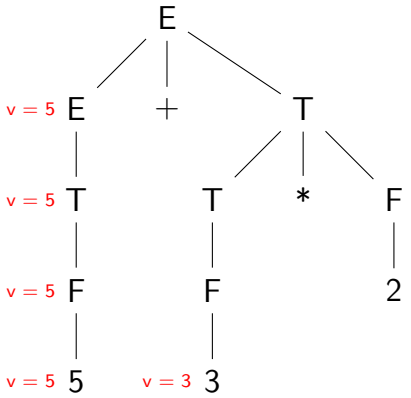


# Test 1 : précédence des opérateurs

Mot : 5 + 3 * 2
Expression à calculer :
$5 + (3 \times 2) = 11$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

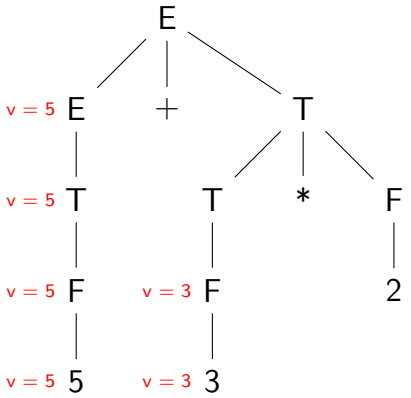


# Test 1 : précédence des opérateurs

Mot : 5 + 3 * 2
Expression à calculer :
$5 + (3 \times 2) = 11$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

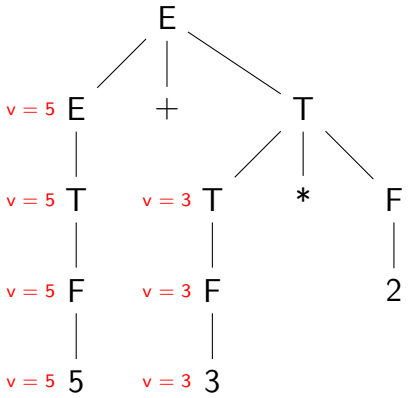


# Test 1 : précédence des opérateurs

Mot : 5 + 3 * 2
Expression à calculer :
$5 + (3 \times 2) = 11$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

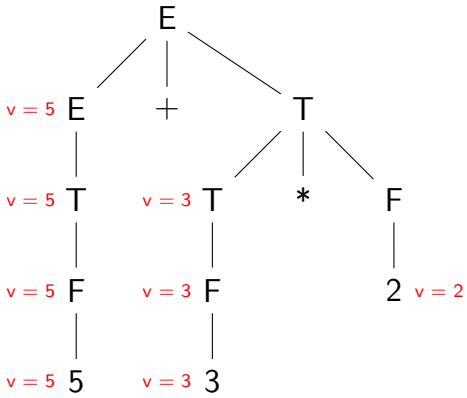


# Test 1 : précédence des opérateurs

Mot : 5 + 3 * 2
Expression à calculer :
$5 + (3 \times 2) = 11$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

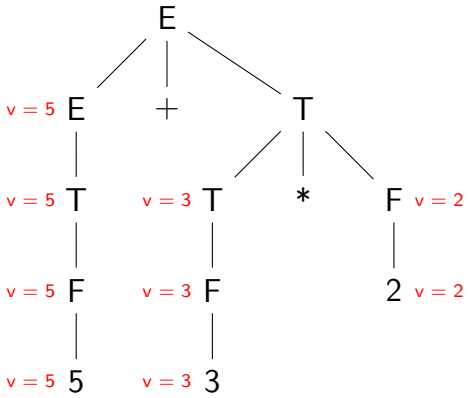


# Test 1 : précédence des opérateurs

Mot : 5 + 3 * 2
Expression à calculer :
$5 + (3 \times 2) = 11$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

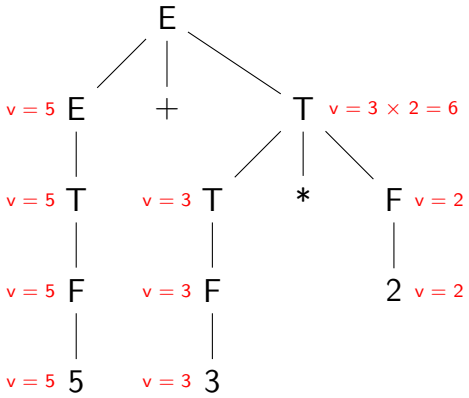


# Test 1 : précédence des opérateurs

Mot : 5 + 3 * 2
Expression à calculer :
$5 + (3 \times 2) = 11$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

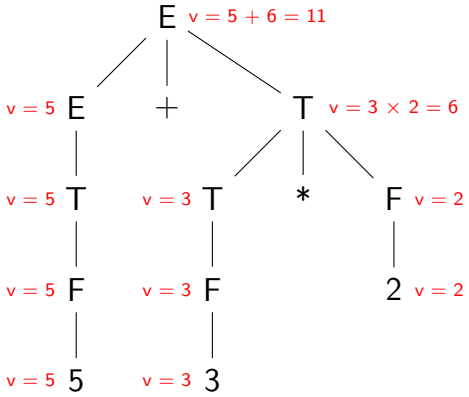


# Test 1 : précédence des opérateurs

Mot : 5 + 3 * 2
Expression à calculer :
$5 + (3 \times 2) = 11$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

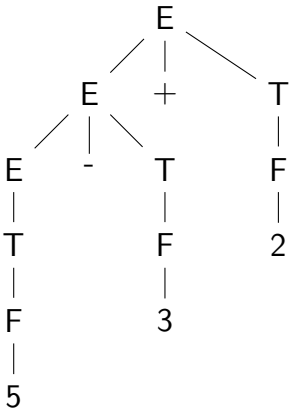


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

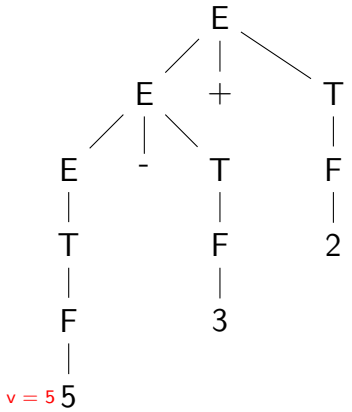


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

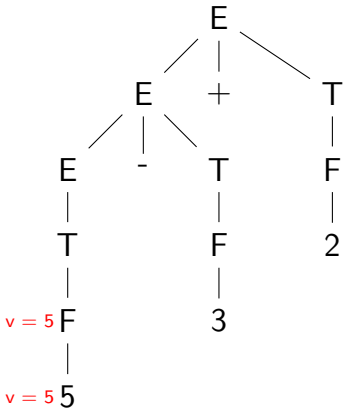


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

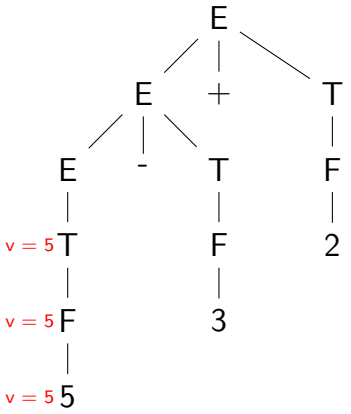


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

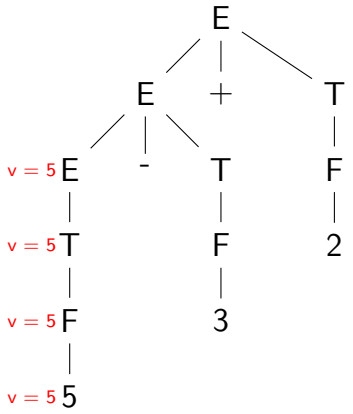


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

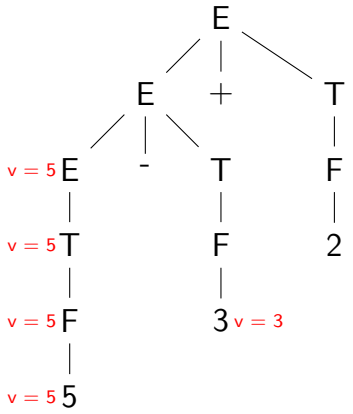


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

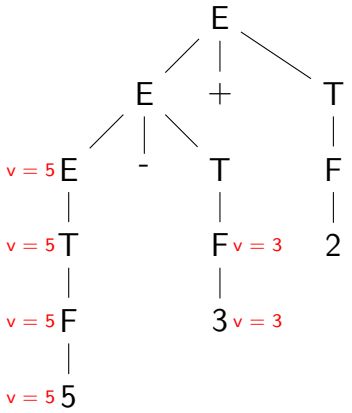


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

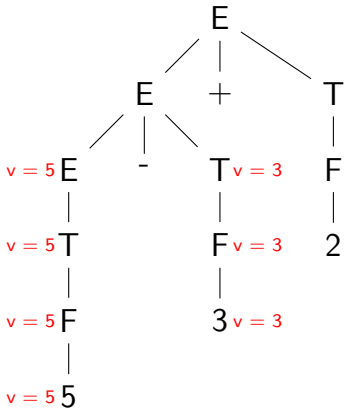


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

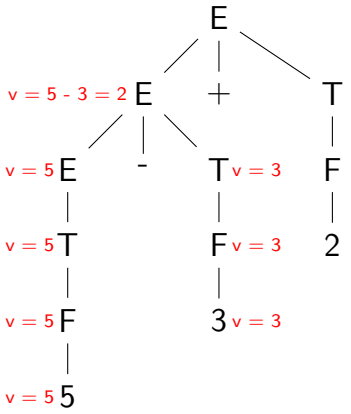


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

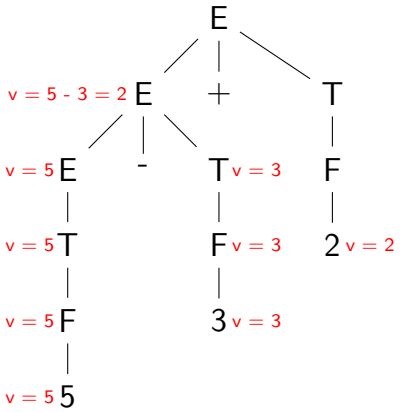


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

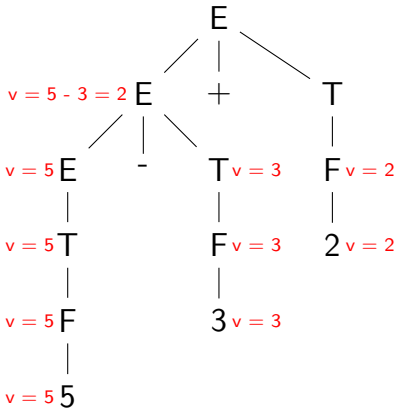


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

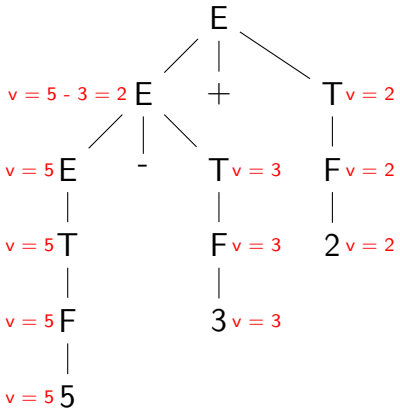


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite

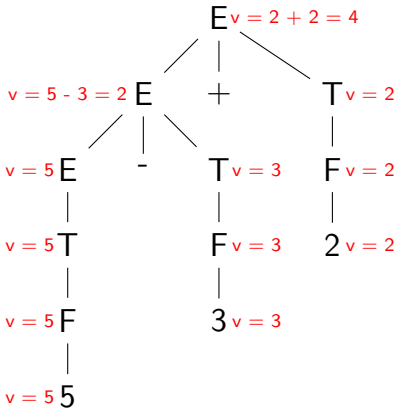


# Test 2 : associativité à gauche

Mot : 5 - 3 + 2
Expression à calculer :
$(5 - 3) + 2 = 4$

## Principes

- Parcours en profondeur gauche-droite
- application de la règle du nœud lors de la dernière visite



Section 3

# Grammaire attribuée : attributs hérités

# Attributs hérités

Un attribut est **hérité** s'il dépend de son père.

Problème : éviter les attributions circulaires !

$$A \rightarrow B \qquad \begin{array}{lcl} A.s & = & B.h \\ B.h & = & A.s + 1 \end{array} \qquad \begin{array}{c} A.s \\ \uparrow \quad \downarrow \\ B.h \end{array}$$

- On se restreint généralement aux attributions
  - synthétisées,
  - héritées d'un frère *gauche*,
  - héritées du père, mais sans cycle.

  Les grammaires sont alors appelées grammaires *L-attribuées*.
- On peut alors calculer les attributs selon un parcours en profondeur gauche de l'arbre.

# Exemple L-attribué : typographie

- Langage de composition de formules mathématique.
- Exemple de formule : $a_0 + a_1 x^1 + a_2 x^2 + a_3 x^3$
- On se limitera ici au traitement des indices et des indices d'indices.
- Chaque lettre est écrite dans une boîte et les boîtes sont combinées pour produire de nouvelles boîtes

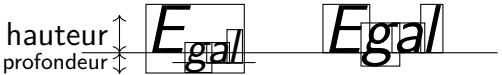
# Grammaire des boîtes

- Une boîte peut être constituée de :
  - deux boîtes juxtaposées
  - une boîte et une boîte en indice ; la seconde apparaît dans une taille inférieure, au-dessous et à droite de la première
  - une boîte entre accolades pour regrouper des boîtes et des indices
  - un caractère
- Chaque mode de combinaison de boîtes est représenté par une règle de grammaire : $B \to BB \mid B$ **sub** $B \mid \{B\} \mid$ car
- On considère que l'indiçage et la juxtaposition sont associatifs à droite et que l'indiçage est prioritaire sur la juxtaposition.

Exemples :
- `x sub i` correspond à $x_i$
- `x sub i + y sub i` correspond à $x_i + y_i$
- `x sub {i + j}` correspond à $x_{i+j}$

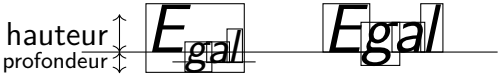
# Composition

Pour composer la formule, il faut calculer la taille, la hauteur et la profondeur des caractères



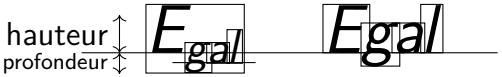

- la taille d'un caractère est la distance entre son point le plus haut et son point le plus bas
- chaque boîte a une ligne de pied qui est une ligne imaginaire sur lesquels sont posés les caractères
- hauteur d'une boîte : distance qui sépare le sommet de la boîte à sa ligne de pied
- profondeur d'une boîte : distance qui sépare le bas de la boîte à la ligne de pied

# Quelques règles de composition




- règles de juxtaposition sous-boîtes
  - deux sous-boîtes d'une boîte héritent d'elle la même taille.
  - la hauteur de la boîte est le maximum des hauteurs des sous-boîtes.
  - la profondeur de la boîte est le maximum des profondeurs des sous boîtes.
- règles de la mise en indice
  - la taille d'une boite en indice est 70% celle de sa mère
  - la ligne d'une boîte en indice est descendue de 25% de la taille de sa mère

# Attributs




On définit trois attributs pour le symbole B :

- la taille ($B.t$), hérité,
- la hauteur ($B.h$), synthétisé,
- la profondeur ($B.p$), synthétisé.

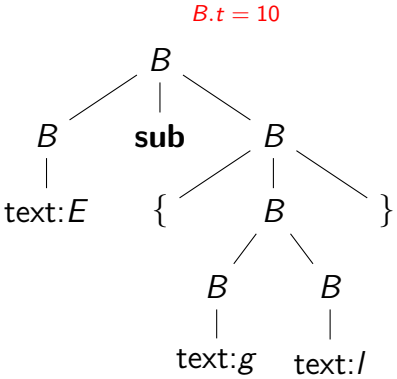
# Exemple : typographie calcul des attributs

| Productions | Règles sémantiques |
|---|---|
| $S \to B$ | $B.t = 10$ |
| $B \to BB$ | $B_1.t = B_2.t = B.t$<br>$B.h = \max(B_1.h, B_2.h)$<br>$B.p = \max(B_1.p, B_2.p)$ |
| $B \to B$ **sub** $B$ | $B_1.t = B.t$<br>$B_2.t = \frac{7}{10} B.t$<br>$B.h = \max(B_1.h, B_2.h - \frac{1}{4} B.t)$ (la ligne est abaissée)<br>$B.p = \max(B_1.p, B_2.p + \frac{1}{4} B.t)$ |
| $B \to \text{car}$ | $B.h = \text{hauteur}(B.t, \text{car})$<br>$B.p = \text{profondeur}(B.t, \text{car})$ |
| $B \to \{B\}$ | $B_1.t = B.t, B.h = B_1.t, B.p = B_1.p$ |

# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

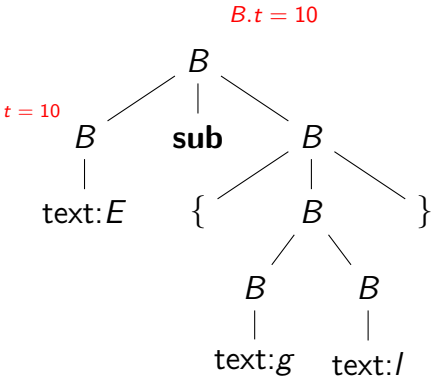
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

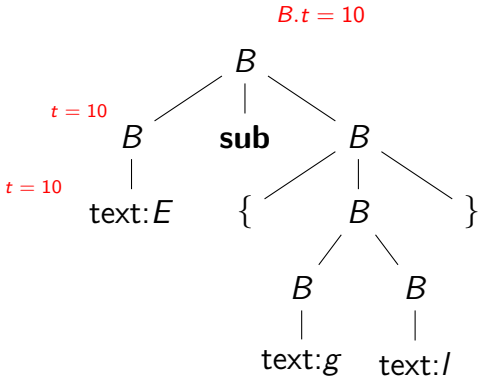
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

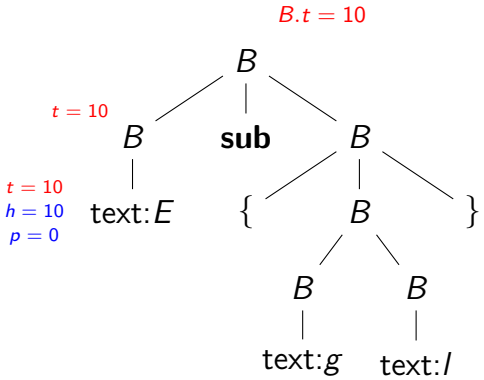
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

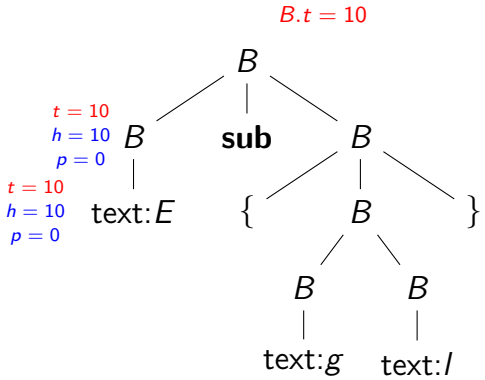
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

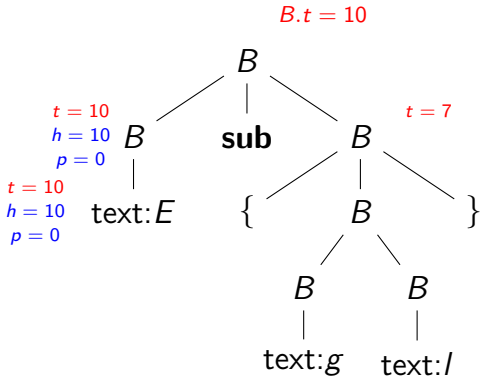
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

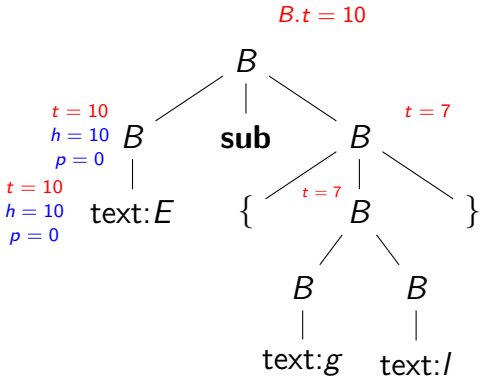
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

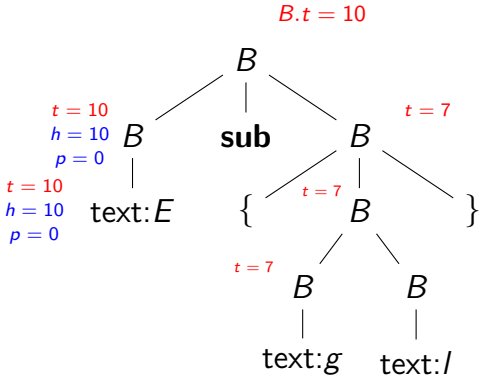
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

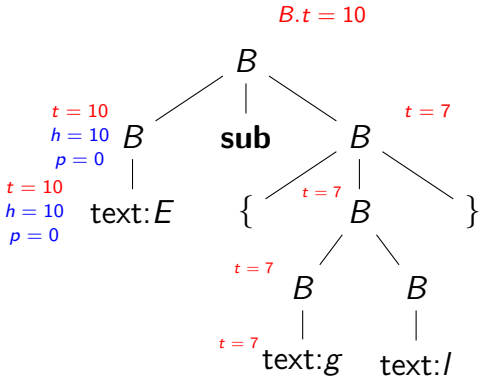
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

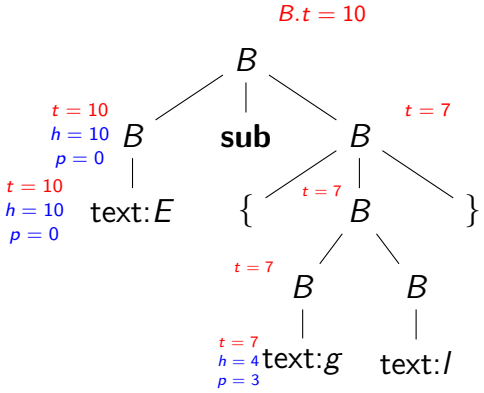
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

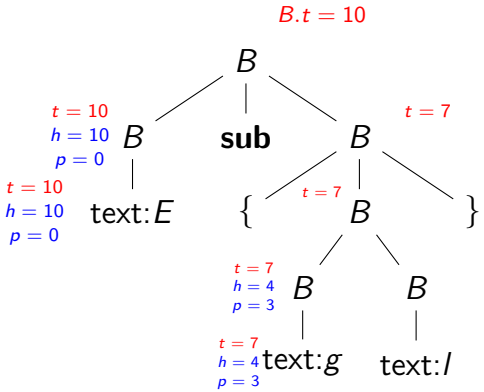
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

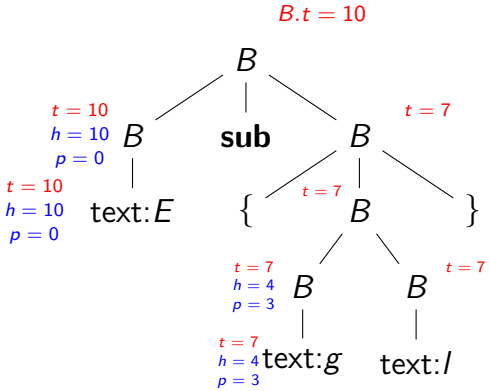
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

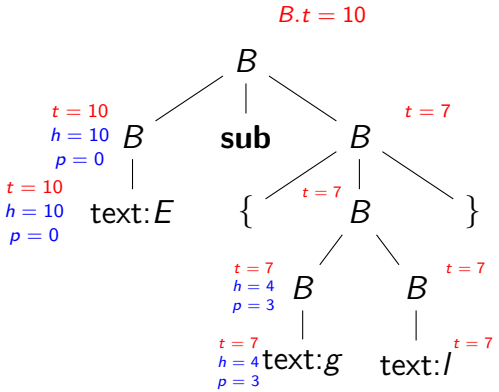
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

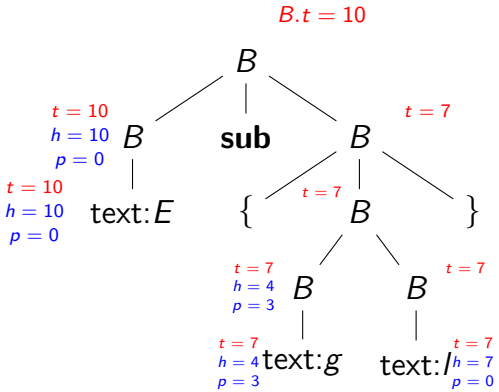
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

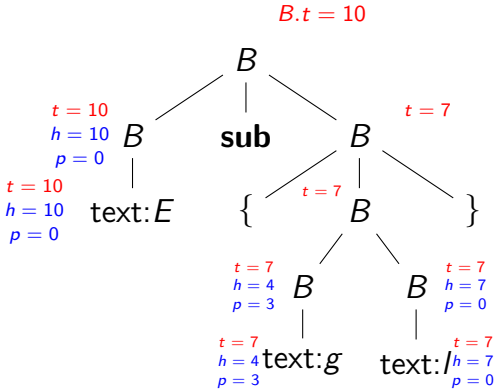
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

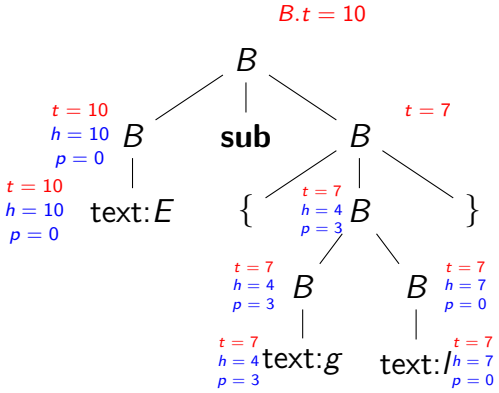
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

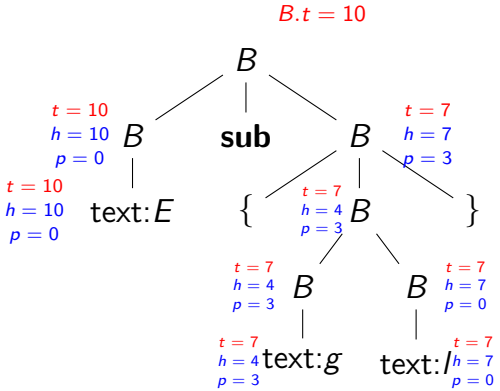
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

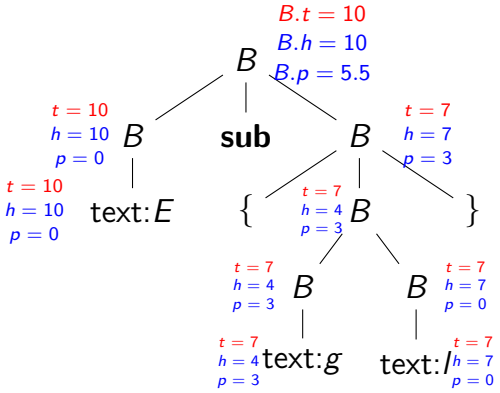
- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



# Exemple : typographie


Mot : E **sub** {gl}
Parcours de l'arbre en profondeur, de gauche à droite :

- calcul des attributs hérités lors de la **première** visite du nœud
- calcul des attributs synthétisés lors de la **dernière** visite du nœud



Section 4

# Construction arbre abstrait

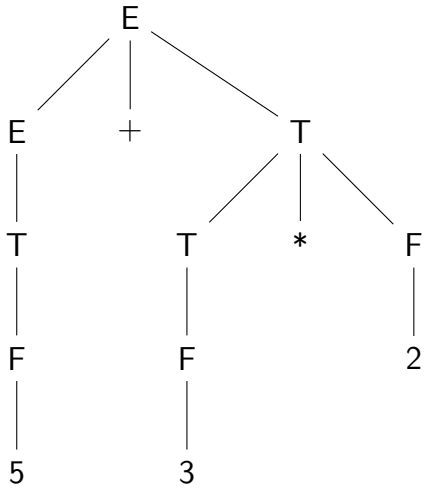
# Construction de l'arbre abstrait pour les expressions

**Objectif** : construire l'arbre abstrait pendant la dérivation
**Attribut** : *n* nœud de l'arbre abstrait
**Constructeur** : Op(g, d)

- *op* → opérateur
- *g* → fils gauche
- *d* → fils droit

| règle | | | action sémantique | | |
|---|---|---|---|---|---|
| E | → | E + T | E.n | = | Plus($E_1$.n, T.n) |
| E | → | E - T | E.n | = | Moins($E_1$.n, T.n) |
| E | → | T | E.n | = | T.n |
| T | → | T * F | E.n | = | Fois($T_1$.n, F.n) |
| T | → | T / F | E.n | = | Div($T_1$.n, F.n) |
| T | → | F | T.n | = | F.n |
| F | → | ( E ) | F.n | = | E.n |
| F | → | n | F.n | = | n |

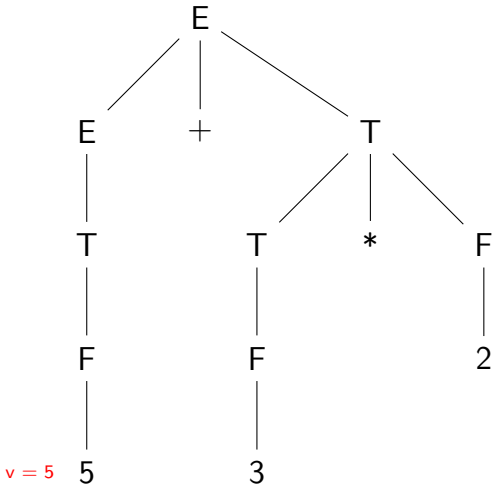
# Génération arbre abstrait




**Mot**

$5 + 3 * 2$

# Génération arbre abstrait

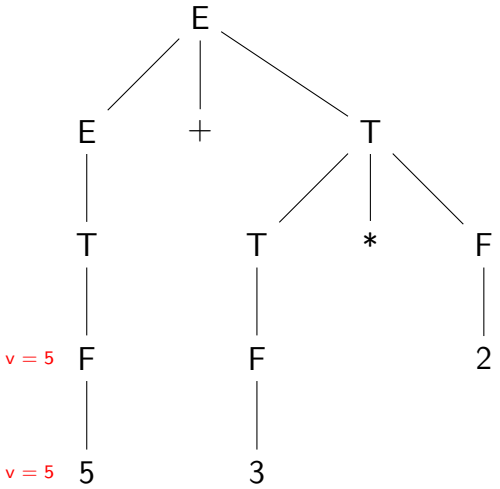



**Mot**

$5 + 3 * 2$

5

# Génération arbre abstrait

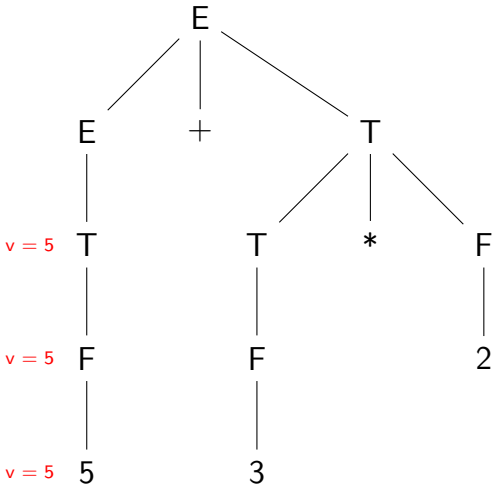



**Mot**

$5 + 3 * 2$

5

# Génération arbre abstrait

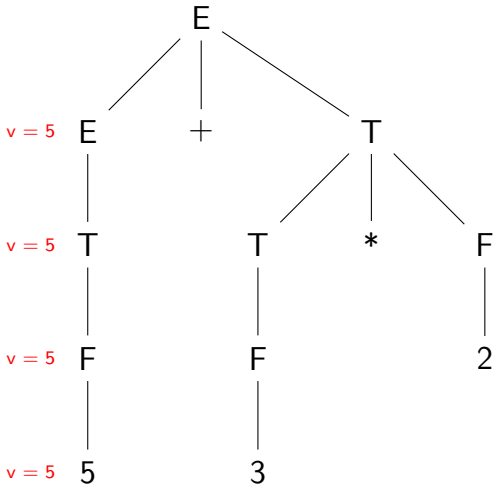



**Mot**

$5 + 3 * 2$

5

# Génération arbre abstrait

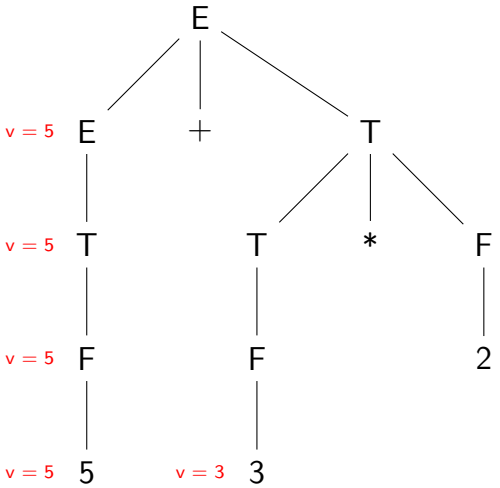



**Mot**

$5 + 3 * 2$

5

# Génération arbre abstrait



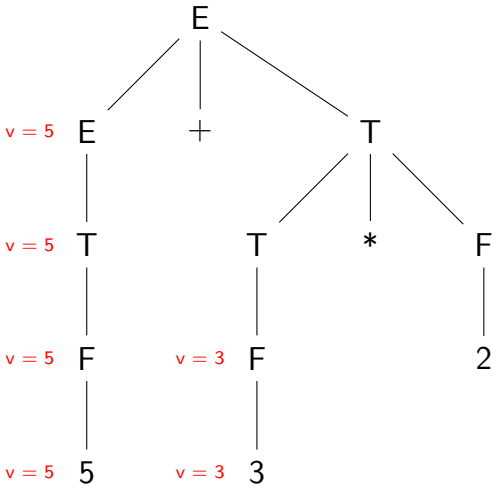

**Mot**

$5 + 3 * 2$

5

3

# Génération arbre abstrait



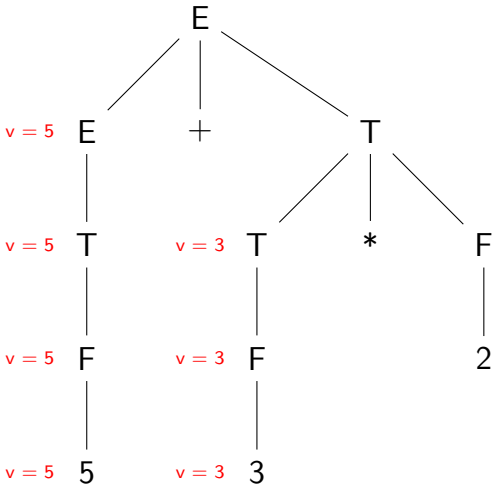

**Mot**

$5 + 3 * 2$

5

3

# Génération arbre abstrait



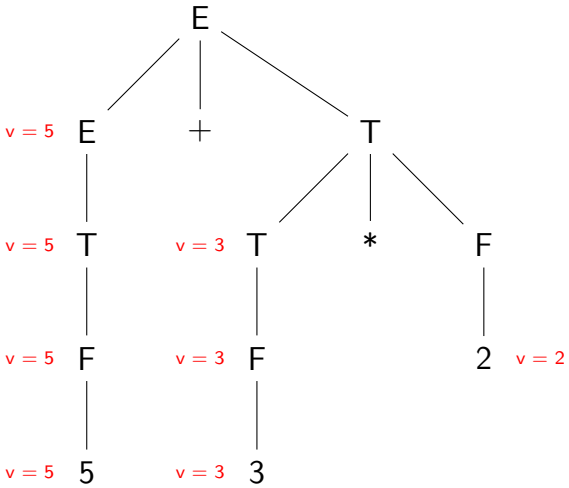

**Mot**

$5 + 3 * 2$

5

3

# Génération arbre abstrait




**Mot**

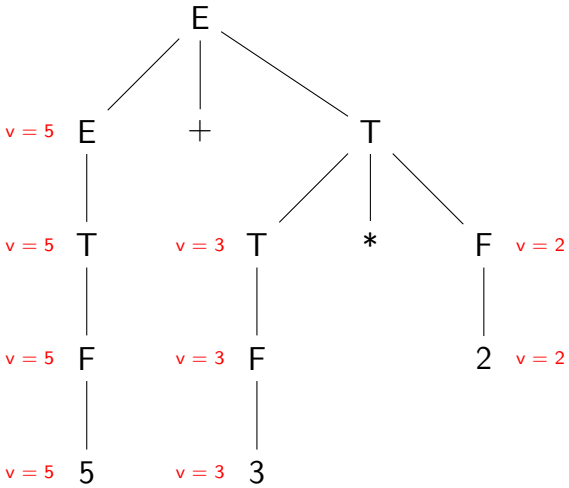
$5 + 3 * 2$

5

3

2

# Génération arbre abstrait




**Mot**

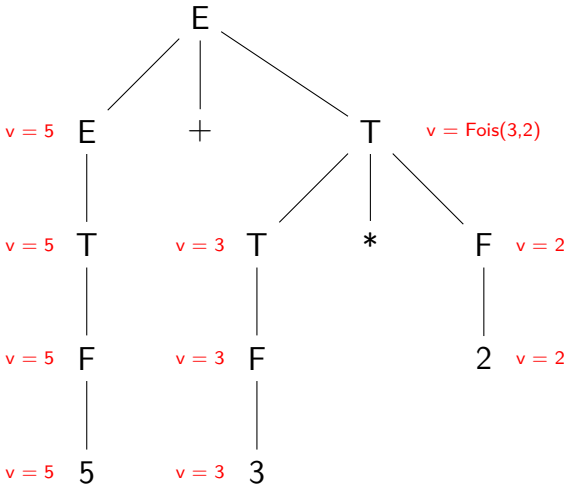
$5 + 3 * 2$

5

3

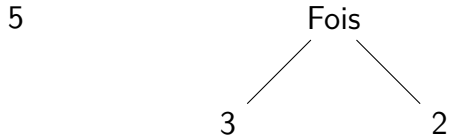
2

# Génération arbre abstrait

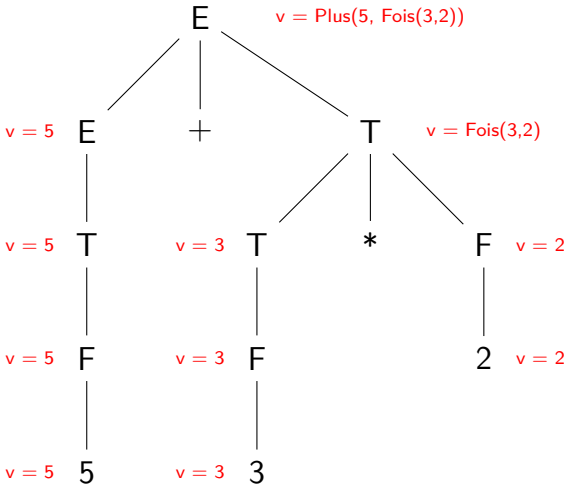



**Mot**

$5 + 3 * 2$



# Génération arbre abstrait




**Mot**

$5 + 3 * 2$