

EISE 4 – Compilation

Quentin Meunier

Janvier 2026

quentin.meunier@lip6.fr

Sorbonne Université
Laboratoire d'Informatique de Paris 6
4 Place Jussieu, 75252 Paris, France



Outline

Compilation

Introduction

Langage et grammaire

Spécifications du projet

Ressources du projet

Déroulement du module

Compilation

Introduction

Langage et grammaire

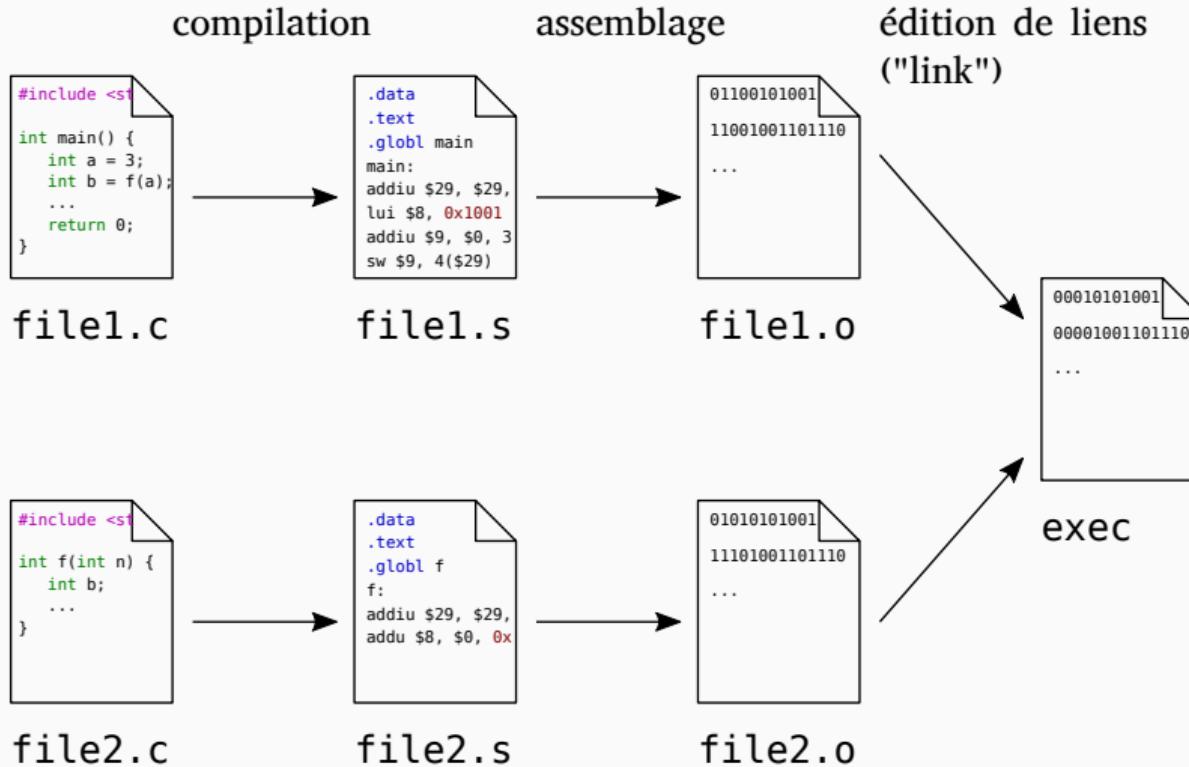
Spécifications du projet

Ressources du projet

Déroulement du module

La compilation

- **Objectif** : transformer un code source en binaire



- Dans ce cours, focalisation sur la compilation à proprement parler, c'est-à-dire la transformation du code source en code assembleur
- ⇒ **But du module** : écrire un compilateur
 - Projet sur 5 ou 6 séances, en binôme (pas de trinôme)
- **Langage source** : sous-ensemble de C, appelé MiniC (avec quelques différences par rapport au C)
- **Langage cible** : assembleur Mips

- Syntaxe du C
- 2 types de variables : bool et int
- Typage fort des expressions (pas de conversions implicite int → bool)
- Evaluation non-paresseuse des expressions
- Pas de :
 - Fonctions (sauf le main)
 - Pointeurs, tableaux
 - switch, case, break, continue, goto, labels
 - typedef, struct, union
 - volatile, register, packed, inline, static, extern
 - unsigned, signed, long, long long, short, char, size_t
 - float, double
 - Opérateurs ++, --, -=, +=, *=, /=, <<=, >>=, &=, |=, ...
 - Cast
 - ...

- Un **langage** est un ensemble de mots sur un alphabet
- Exemple, sur l'alphabet { 'a', 'b' }, l'ensemble des mots { a, abb, baa, bbaa, aaaba } constitue un langage
- Un langage peut contenir un nombre infini de mots
- ⇒ On ne peut pas décrire l'ensemble des mots de manière explicite, il faut un moyen inductif, comme une grammaire

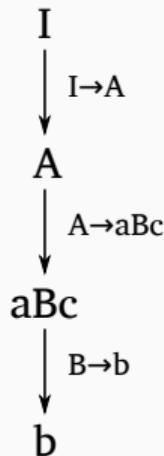
- Une **grammaire** définit un langage
- Une grammaire contient les éléments suivants :
 - Un ensemble de **terminaux** V_T (aussi appelés *tokens*) : ce sont les éléments atomiques des mots du langage ; par exemple : { 'a', 'b', 'c' }
 - Un ensemble de **non-terminaux** V_N , par exemple { 'I', 'A', 'B' }
 - Un **axiome** (élément initial), qui est un non-terminal, par exemple I
 - Un ensemble de **règles de dérivation** qui permettent de “transformer” ce qu'il y a en partie gauche de la règle en ce qu'il y a en partie droite
- **Remarques :**
 - V_T et V_N sont appelés des **vocabulaires** et sont disjoints
 - Le vocabulaire de la grammaire est $V = V_T \cup V_N$
 - L'alphabet du langage induit par une grammaire est le vocabulaire terminal de la grammaire

- Soit une grammaire $G = < \{a, b, c\}, \{I, A, B\}, I, R >$ avec l'ensemble R de règles suivantes :
 - $I \rightarrow A$
 - $I \rightarrow BA$
 - $A \rightarrow aBc$
 - $B \rightarrow bB$
 - $B \rightarrow b$
- Les mots abc, abbc, bbabbc appartiennent au langage engendré
- Les mots bb, bac, abca, aabc n'y appartiennent pas
- **Remarque** : le terminal ε désigne un élément vide ; par exemple, si on ajoute la règle $A \rightarrow \varepsilon$, le mot bb appartient au langage

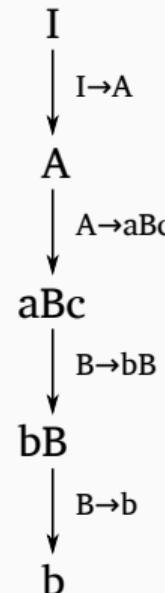
Arbre de dérivation

- Un **arbre de dérivation** représente les règles de dérivation qui sont prises à partir de l'axiome pour construire un mot du langage (une branche représente une règle prise)
- Arbres pour les exemples précédents :

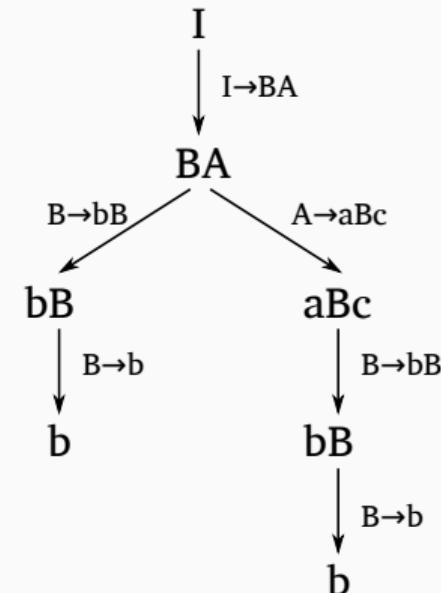
abc



abbc



bbabbcc



- Une grammaire est dite **ambigüe** quand un mot du langage peut être obtenu par au moins deux arbres de dérivations différents
- La grammaire précédente n'était pas ambigüe, tandis que la grammaire suivante l'est :
 - $I \rightarrow AC$
 - $A \rightarrow abA$
 - $A \rightarrow a$
 - $C \rightarrow baC$
 - $C \rightarrow b$
- Le mot $abab$ peut être obtenu de deux manière différentes
- On cherche en général à éviter les grammaires ambigües (la plupart des langages peuvent être décrits par une grammaire non-ambigüe)

Types de grammaires et de langages

- Les grammaires sont catégorisées selon la forme de leur règles
- \Rightarrow Plus les règles sont contraintes, plus les analyses automatiques sont faciles, mais moins le langage est expressif
- Soit V_N l'ensemble des non-terminaux d'une grammaire, V_T l'ensemble des terminaux, et $V = V_T \cup V_N$
- Dans les définitions suivantes, $A, B \in V_N$, $\omega \in V_T^*$, $\psi \in V^+$, $\alpha, \beta \in V^*$
- Une grammaire est dite **régulière** si toutes ses règles sont de l'une des formes suivantes :
 - $A \rightarrow \omega B$
 - $A \rightarrow B\omega$
 - $A \rightarrow \omega$
- Une grammaire est dite **hors-contexte** si toutes ses règles sont de la forme :
 - $A \rightarrow \alpha$
- Une grammaire est dite **sous-contexte** si toutes ses règles sont de la forme :
 - $\alpha A \beta \rightarrow \alpha \psi \beta$
- Une grammaire est dite **générale** si ses règles sont de la forme :
 - $\alpha \rightarrow \beta$

- Si l'on ne considère pas les règles de la forme $A \rightarrow \varepsilon$, on a :
grammaires régulières \subset grammaires hors-contexte \subset grammaires sous-contexte \subset grammaires générales
- Les langages résultant des **grammaires régulières** sont équivalents aux langages décrits par des **expressions régulières**, et aux langages décrits par les **automates**
- **Exemple :**

Grammaire

$$A \rightarrow aA \mid B$$

$$B \rightarrow baC$$

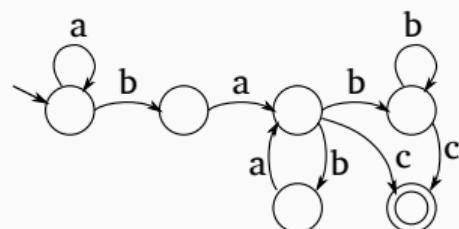
$$C \rightarrow baC \mid D$$

$$D \rightarrow bD \mid c$$

Expression Régulière

$$a^*(ba)^+b^*c$$

Automate



- Les langages réguliers sont les plus faciles à analyser, mais on ne peut pas tout exprimer ; par exemple, le langage $a^n b^n$ ne peut pas être décrit par un langage régulier, mais s'écrit trivialement avec une grammaire hors-contexte : $A \rightarrow aAb|\varepsilon$
- De même, le langage des parenthèses s'écrit facilement avec une grammaire hors-contexte mais ne peut pas s'écrire avec un langage régulier
- **Remarque** : la syntaxe des langages de programmation est souvent décrite à l'aide d'une grammaire hors-contexte
- **Pour aller plus loin** : polycopié de référence en théorie des langages :
<http://lig-membres.imag.fr/mechenim/wp-content/uploads/sites/219/2016/05/PolycopieTL1.pdf>

Compilation

Spécifications du projet

Exemple introductif

Analyse lexicographique

Analyse syntaxique

Vérifications contextuelles

Génération de code

Autres

Ressources du projet

Déroulement du module

Compilation

Spécifications du projet

Exemple introductif

Analyse lexicographique

Analyse syntaxique

Vérifications contextuelles

Génération de code

Autres

Ressources du projet

Déroulement du module

Exemple introductif : programme

- Soit le programme MiniC suivant :

```
1      // Un exemple de programme MiniC
2      int start = 0;
3      int end = 100;
4
5      void main() {
6          int i, s = start, e = end;
7          int sum = 0;
8          for (i = s; i < e; i = i + 1) {
9              sum = sum + i;
10         }
11         print("sum: ", sum, "\n");
12     }
```

- Transformation du programme source en liste de tokens (terminaux du langage)
- Réalisé à partir de la lecture des caractères un par un par une machine d'état
- Pénible à faire ⇒ outils pour générer cette machine à partir d'une description de plus haut niveau des tokens
- Outil communément utilisé : lex
- → C'est l'outil utilisé pour le projet

- Mots-clés du langage : `void`, `int`, `bool`, `true`, `false`, `if`, `else`, `while`, `for`, `do`, `print`
- Identificateurs (nom de variables) :
 - `LETTRE` = {`'a'`, ..., `'z'`, `'A'`, ..., `'Z'`}
 - `CHIFFRE` = {`'0'`, ..., `'9'`}
 - `IDF` = (`LETTRE`) (`LETTRE` | `CHIFFRE` | `'_'`)*
- Littéraux entiers
 - `CHIFFRE_NON_NUL` = {`1`, ..., `9`}
 - `ENTIER_DEC` = `'0'` | `CHIFFRE_NON_NUL CHIFFRE*`
 - `LETTRE_HEXA` = {`'a'`, ..., `'f'`, `'A'`, ..., `'F'`}
 - `ENTIER_HEXA` = `'0x'` (`CHIFFRE` | `LETTRE_HEXA`)+
 - `ENTIER` = `ENTIER_DEC` | `ENTIER_HEXA`
- Chaines de caractères littérales
 - `CHAINE` = `""` (`CHAINE_CAR` | `'\"'` | `'\n'`)* `""`
 - Dans laquelle `CHAINE_CAR` est l'ensemble de tous les caractères imprimables, à l'exception de `'"` et `'\'`

- **Symboles spéciaux** : il y a un certain nombre de symboles spéciaux qui ont chacun leur propre token associé : +, -, {, ...
 - → Voir la spécification complète pour l'exhaustivité de ces symboles
- **Commentaires** : suite de caractères imprimables et de tabulations qui commence par '//' et s'étend jusqu'à la fin de la ligne
 - Pas de terminal associé : une fois que l'on a détecté cette séquence, rien à renvoyer
- Les séparateurs de MiniC sont ' ' (caractère d'espace), tabulation horizontale et fin de ligne
 - Ce ne sont pas des tokens en eux-mêmes : ils servent à séparer les tokens

Exemple introductif : après analyse lexicographique

TOK_INT 2	TOK_IDENT 2 'start'	TOK_AFFECT 2	TOK_INTPVAL 2 '0'	TOK_SEMICOL 2	TOK_INT 3
TOK_IDENT 3 'end'	TOK_AFFECT 3	TOK_INTPVAL 3 '100'	TOK_SEMICOL 3	TOK_VOID 5	TOK_IDENT 5 'main'
TOK_LPAR 5	TOK_RPAR 5	TOK_LACC 5	TOK_INT 6	TOK_IDENT 6 'i'	TOK_COMMA 6
TOK_AFFECT 6	TOK_IDENT 6 'start'	TOK_COMMA 6	TOK_IDENT 6 'e'	TOK_AFFECT 6	TOK_IDENT 6 'end'
TOK_SEMICOL 6	TOK_INT 7	TOK_IDENT 7 'sum'	TOK_AFFECT 7	TOK_INTPVAL 7 '0'	TOK_SEMICOL 7
TOK_FOR 8	TOK_LPAR 8	TOK_IDENT 8 'i'	TOK_AFFECT 8	TOK_IDENT 8 's'	TOK_SEMICOL 8
TOK_IDENT 8 'i'	TOK_LT 8	TOK_IDENT 8 'e'	TOK_SEMICOL 8	TOK_IDENT 8 'i'	TOK_AFFECT 8
TOK_IDENT 8 'i'	TOK_PLUS 8	TOK_INTPVAL 8 '1'	TOK_RPAR 8	TOK_LACC 8	

- Un fichier lex a le format suivant :

```
%{  
    Includes C et déclarations de fonctions  
    Copié tel quel dans le fichier produit par lex  
}  
    Définitions  
%%  
    Règles  
%%  
    Fonctions C (par exemple, main)  
    Copié tel quel dans le fichier produit par lex
```

- **Définitions** : de la forme NOM expression
- **Exemples** :
 - LETTRE [A-Za-z]
 - IDF {LETTRE}({LETTRE}|{CHIFFRE}|_)*
- **Règles** : de la forme Caractères action
- **Exemples** :
 - "void" return TOK_VOID;
 - {IDF} {
 yyval.strval = strdup(yytext);
 return TOK_IDENT;
}
- Squelette du fichier fourni, à compléter

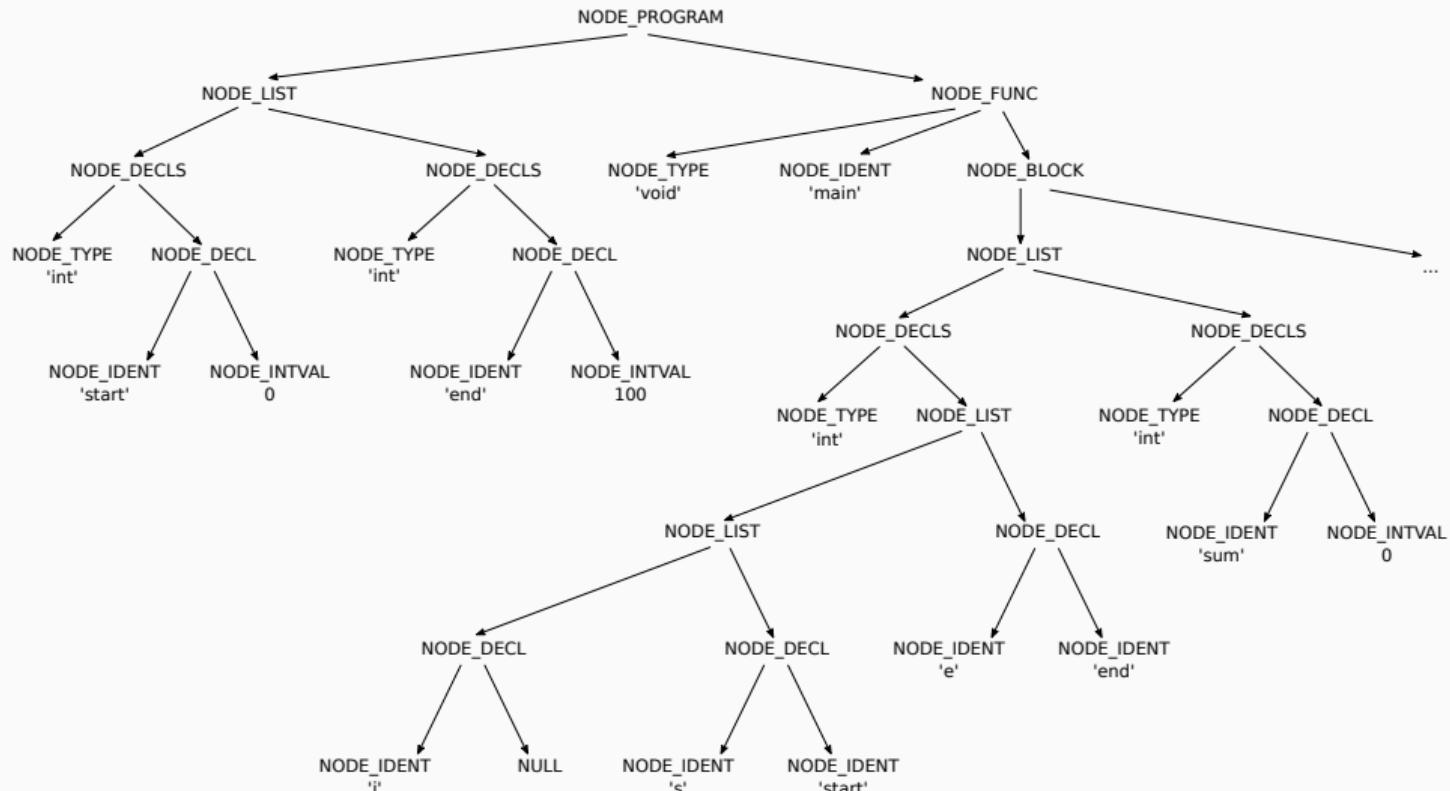
- Transformation de la suite de tokens en **arbre du programme**
- **Principe :**
 - Retrouver les règles prises dans la grammaire (hors-contexte) du langage à partir de la suite de tokens
 - Les réduire dès que possible, i.e. "remonter" le non-terminal de la règle
 - Créer la ou les branches correspondantes dans l'arbre du programme
- **Remarque :** l'arbre de dérivation correspondant au programme et l'arbre du programme sont différents, i.e. toutes les règles de la grammaire ne se traduisent pas par une branche dans l'arbre du programme

- Comme pour l'analyse lexicographique, le programme qui retrouve la règle à partir des tokens est généré à partir d'une description de la grammaire
- Utilise une **pile** de tokens :
 - Le token lu est mis au sommet de la pile
 - Si les n premiers tokens au sommet de la pile se réduisent en une règle, remplacement de tous ces tokens avec le non-terminal correspondant (au sommet de la pile) : **reduce**
 - Sinon, lecture du token suivant : **shift**
 - En réalité un petit peu plus compliqué car il faut considérer la priorité des opérateurs : il faut lire un token de plus avant de décider
 - On continue jusqu'à une réduction à l'axiome de la grammaire ; si on n'y arrive pas, le programme est syntaxiquement incorrect
- Outil communément utilisé : yacc (interface prévue avec lex)
- → C'est l'outil utilisé pour le projet

- Définie par une grammaire hors-contexte
- Priorité et associativité des opérateurs
- La grammaire du langage est entièrement donnée dans le document de ressources
- ⇒ Il faut coder l'automatisation de la construction de l'arbre du programme

Exemple introductif : après analyse syntaxique

- Arbre (partie) du programme obtenu après analyse syntaxique



Syntaxe de MiniC : utilisation de yacc

- Un fichier yacc a le format suivant :

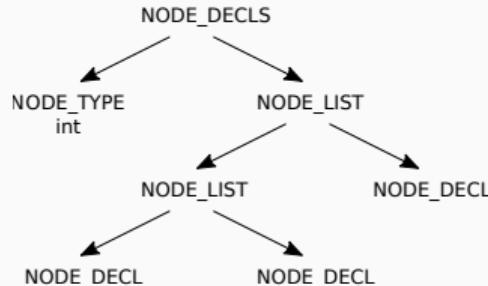
```
%{  
    Includes C et déclarations de fonctions  
    Copié tel quel dans le fichier produit par lex  
}  
    Définitions  
%%  
    Règles  
%%  
    Fonctions C  
    Copié tel quel dans le fichier produit par yacc
```

- La partie **définitions** contient principalement les déclarations des tokens, leur priorité et leur associativité
 - %left, %right ou %nonassoc
 - Du moins prioritaire vers le plus prioritaire
 - **Exemple** : %left TOK_OR
- Définit aussi le type retourné par les tokens ayant des informations supplémentaires (ex : littéral) et par les non-terminaux (noeud de l'arbre)
- **Exemples** :
 - %type <intval> TOK_INTVAL
 - %type <ptr> program

- La partie **règles** contient les règles de la grammaire du langage et les actions associées
 - Les actions sont entre accolades
 - \$\$ représente ce qui est retourné (un noeud de l'arbre)
 - \$i représente ce qui est retourné par le i-ème élément (terminal ou non) en partie droite de la règle
- **Exemple :**
 - expr : expr TOK_MUL expr { \$\$ = make_node(NODE_MUL, 2, \$1, \$3); }
 - make_node est une fonction à écrire dans la dernière partie du fichier, prenant un nombre variable de paramètres ; elle construit un noeud simple de l'arbre (sans données supplémentaires comme un nom d'identificateur) à partir de sa nature et de ses fils

Syntaxe de MiniC : cas des noeuds liste

- Dans certains cas, les règles sont récursives, pour traduire le fait que le programme contient une succession d'éléments
 - **Exemple** : instructions, déclaration des variables
- Au niveau de l'arbre, on implémente cela en utilisant des noeuds particuliers, appelés noeuds liste (NODE_LIST)
- **Exemple** : `int a, b, c` produit l'arbre :



- Règles correspondantes :

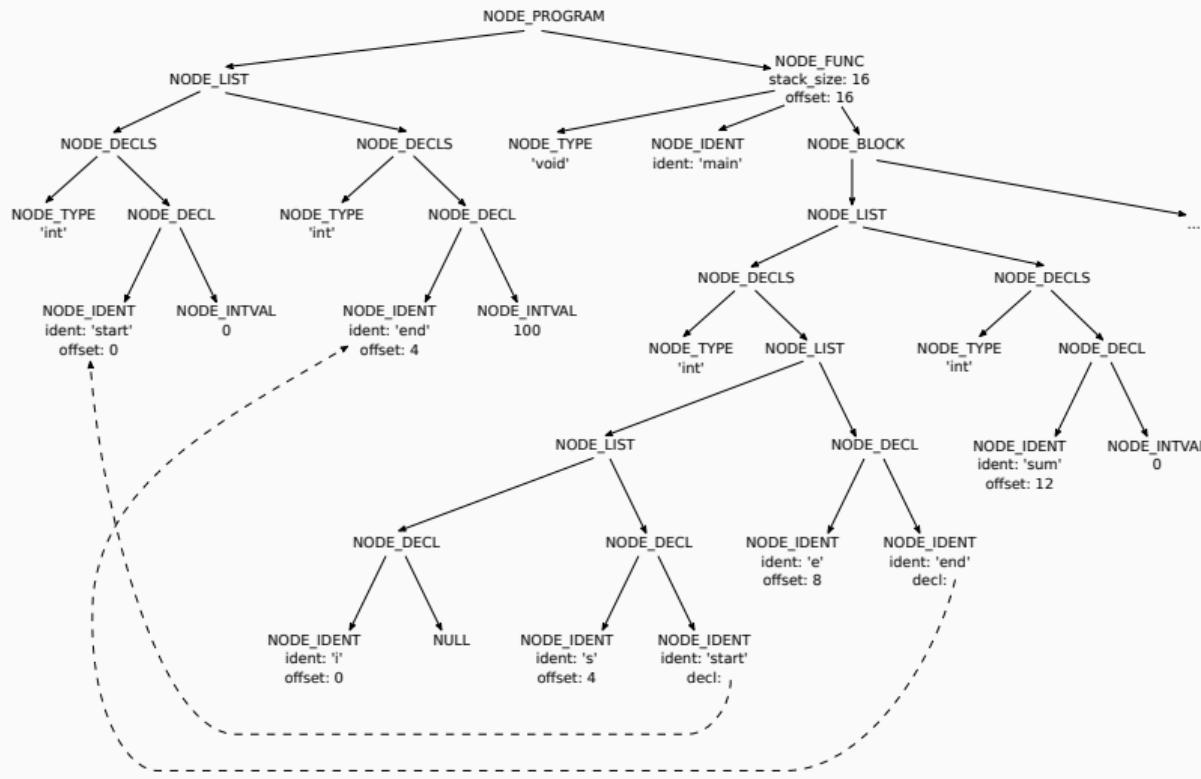
```
listtypedecl : decl           { $$ = $1; }
              | listtypedecl TOK_COMMA decl { $$ = make_node(NODE_LIST, 2, $1, $3); }
              ;
```

- L'ensemble des arbres de programme corrects est défini par une grammaire, appelée **grammaire d'arbres**
- Cette grammaire définit le nombre et la nature des noeuds enfants que peuvent avoir les noeuds d'une certaine nature
- Cette grammaire est entièrement spécifiée dans le document de spécification

- Un programme syntaxiquement correct n'est pas forcément correct
- **Exemples** : référence à une variable non déclarée, types des opérandes d'un opérateur incompatibles (`bool + bool`)
- Vérifier que le programme est correct nécessite une passe spécifique : la passe de **vérification contextuelle**
- Toutes les vérifications sont spécifiées formellement par une grammaire attribuée : elle vous est donnée pour ce projet
- La passe doit implémenter ces vérifications
- La passe de vérifications permet aussi de rattacher les noeuds d'occurrence des variables à leur définition

Exemple introductif : après vérifications contextuelles

- Arbre (partie) du programme obtenu après vérifications (rattachement des noeuds d'occurrence à leur définition)



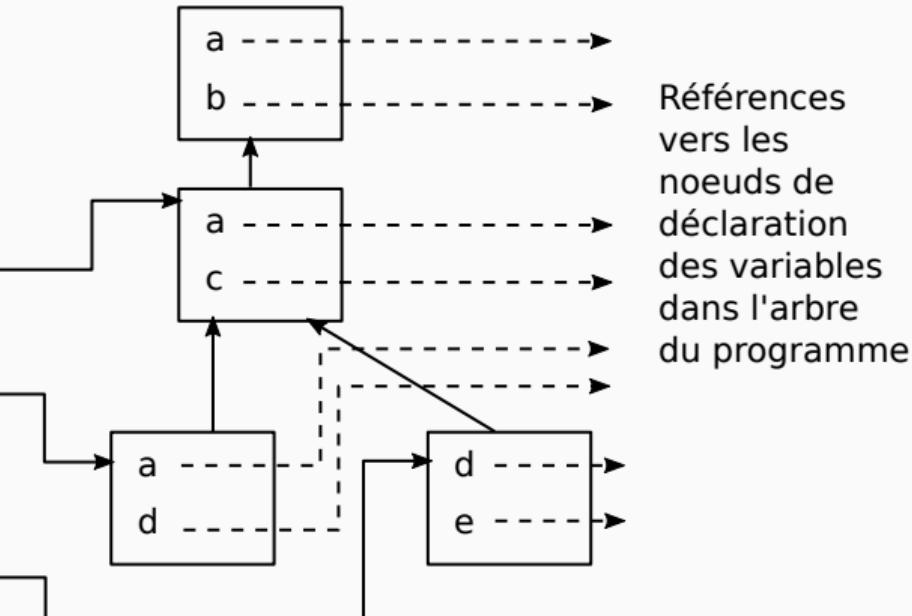
- Un **contexte** contient un ensemble d'associations : nom (de variable) → définition
 - ~ Structure de données de type `map` en programmation (clé, valeur)
- ⇒ Un contexte ne peut contenir qu'une fois un nom donné
- Un **environnement** est un empilement (une pile) de contextes
- La définition associée à une variable est cherchée dans le contexte au sommet, puis (si définition absente), dans le contexte suivant (contexte dessous le sommet de pile), etc.
- Une définition récente d'une variable (contexte en haut de la pile) masque une définition plus ancienne (contexte en bas de la pile)

- **Exemple** : environnement d'analyse des différents blocs d'un programme

```
int a = 0;
int b = 0;

void main() {
    int a = 1;
    int c = 2;

    if (true) {
        int a = 5;
        int d = 6;
        a = a + b + c + d;
    }
    else {
        int d;
        int e;
        e = d = 1;
    }
}
```



- **Objectif** : Pouvoir comprendre la grammaire attribuée ; décodage des règles et vérifications à faire vous-mêmes
- **Grammaire attribuée** : grammaire concrète du langage, enrichie d'**attributs** (donnée ou structure de données : ensemble, type, etc.)
- Les attributs peuvent être soit **hérités** (\downarrow), soit **synthétisés** (\uparrow)
- Un attribut hérité “descend” l’arbre de dérivation :
 - Il peut être lu s’il apparaît en partie gauche de la règle
 - Il doit être affecté s’il apparaît dans la partie droite de la règle
- Un attribut synthétisé “remonte” l’arbre de dérivation :
 - Il peut être lu s’il apparaît en partie droite de la règle
 - Il doit être affecté s’il apparaît en partie gauche de la règle

- Exemple : déclaration de variables

decl_vars \downarrow_{env} \downarrow_{ctx_0} \downarrow_{global} \uparrow_{ctx_1}
 \rightarrow **type** \uparrow_{type}

liste_declarations_type \downarrow_{env} \downarrow_{ctx_0} \downarrow_{type} \downarrow_{global} \uparrow_{ctx_1} ; ;

condition $type \neq \underline{void}$

- Exemple : boucle for

inst \downarrow_{env} \rightarrow **for** ' (' **exp** $\downarrow_{env} \uparrow_{-}$; ; **exp** $\downarrow_{env} \uparrow_{bool}$; ; **exp** $\downarrow_{env} \uparrow_{-}$) ; **inst**
 \downarrow_{env}

- **Exemple** : bloc

bloc \downarrow_{env} \rightarrow ' { ' **liste_declarations** \downarrow_{env} $\downarrow \{ \}$ $\downarrow \underline{false} \uparrow_{ctx}$ **liste_inst** $\downarrow_{ctx/env}$ ' } ,

- a/b dénote l'environnement obtenu par l'empilement du contexte a sur l'environnement b

- **But de la passe** : produire le programme assembleur Mips correspondant à un arbre vérifié
- Parcours de l'arbre en profondeur (récuratif), génération des instructions dans l'ordre du programme
- → Exemples à la prochaine séance (TD)

Exemple introductif : après génération de code

- Code assembleur mips obtenu (1/2)

```
# Declaration des
# variables globales
.data

start: .word 0
end:   .word 100
.asciiiz "sum: "
.asciiiz "\n"

# Programme
.text

main:
# Prologue : allocation en pile
# pour les variables locales
# i se trouve a l'adresse 0($29)
# s se trouve a l'adresse 4($29)
# e se trouve a l'adresse 8($29)
# sum se trouve a l'adresse 12($29)
addiu $29, $29, -16

# s = start
lui    $8, 0x1001
lw     $8, 0($8)
sw     $8, 4($29)
# e = end
lui    $8, 0x1001
lw     $8, 4($8)
sw     $8, 8($29)
# sum = 0
ori   $8, $0, 0
sw    $8, 12($29)
# for (i = s; i < e; i = i + 1)
# i = s
lw     $8, 4($29)
sw    $8, 0($29)
```

Exemple introductif : après génération de code

- Code assembleur mips obtenu (2/2)

```
# i < e ?
_L1:
    lw      $8, 0($29)
    lw      $9, 8($29)
    slt    $8, $8, $9
    beq    $8, $0, _L2
# sum = sum + i
    lw      $8, 12($29)
    lw      $9, 0($29)
    addu   $8, $8, $9
    sw      $8, 12($29)
# i = i + 1
    lw      $8, 0($29)
    ori    $9, $0, 1
    addu   $8, $8, $9
    sw      $8, 0($29)
# Retour au test de boucle
j     _L1
```

```
_L2:
    # print("sum :")
    lui    $4, 0x1001
    ori    $4, $4, 8
    ori    $2, $0, 4
    syscall
    # print(sum)
    lw     $4, 12($29)
    ori   $2, $0, 1
    syscall
    # print("\n");
    lui    $4, 0x1001
    ori    $4, $4, 14
    ori    $2, $0, 4
    syscall
    # Desallocation des variables
    # locales en pile
    addiu $29, $29, 16
    # exit
    ori    $2, $0, 10
    syscall
```

- Le compilateur doit gérer un certain nombre d'**options** sur la ligne de commande, en particulier :
 - Une option pour limiter le nombre de registres utilisés
 - Une option pour stopper la compilation après l'analyse syntaxique
 - Une option pour stopper la compilation après la passe de vérifications
 - Une option pour définir le **niveau de trace**; par défaut (niveau 0), la compilation d'un code correct **ne doit rien afficher**
- Ces options seront utilisées par les scripts d'évaluation automatique ⇒ Nécessité de les respecter
- Spécifications complètes et exemples dans le polycopié

- Les programmes source incorrects doivent lever une erreur lors de leur compilation : **erreur de compilation** (différent des erreurs internes au compilateur)
- Les différents types d'erreur de compilation doivent être **formatés** de la manière suivante :
`Error line <num_ligne>: <description du problème>`
par exemple :
`Error line 12: variable ‘‘foo’’ undeclared`
- Respecter ce format est très important : en particulier, la chaîne `line <num>` sera recherchée automatiquement par les scripts d'évaluation, et le numéro de ligne vérifié
- S'arrêter à la première erreur rencontrée dans le programme source

Compilation

Spécifications du projet

Ressources du projet

Vue d'ensemble des modules à écrire

Modules fournis

Code fourni

Organisation du travail

Déroulement du module

Compilation

Spécifications du projet

Ressources du projet

Vue d'ensemble des modules à écrire

Modules fournis

Code fourni

Organisation du travail

Déroulement du module

- **Objectif Principal** : écrire les analyses lexicales et syntaxiques, et les passes de vérification et génération de code
- ⇒ Un certain nombre de modules annexes sont fournis sous forme d'implémentation binaire (librairie + .h)
- Implémenter ces modules annexes vous-mêmes vous apportera des points bonus
- Dans ce cas, vous êtes libres de garder la même interface (fonctions, paramètres, etc.) ou de la changer
- **Attention :**
 - Binaires fournis pour **linux** uniquement (si machine windows ⇒ se connecter aux machines de l'école)

- Analyse lexicographique : fichier lex à compléter
- Analyse syntaxique : fichier yacc à compléter
- Analyse des arguments de la ligne de commande et options
- Module de contexte (A)
- Module d'environnement (A)
- Allocateur de registres (A)
- Première passe : vérifications contextuelles
- Deuxième passe : génération de code

Définitions générales au projet : fichier defs.h

- Définition du type `node_t` : noeud de l'arbre du programme
- Définition de l'enum `node_nature` : natures possibles pour un noeud
- Définition de l'enum `node_type` : type de l'expression associée au noeud
- Ce fichier ne doit pas être modifié

- Fournit la représentation d'un programme assembleur
- Fonctions pour créer les différents types d'instructions et directives mips
- Création du fichier final
- Module documenté dans le polycopié
- Pas très conseillé d'essayer de faire le vôtre...

- Réalise l'association entre un nom de variable et sa définition (noeud associé à la déclaration dans l'arbre du programme)
- Plusieurs implémentations possibles, celle fournie utilise un arbre indexé par les caractères du nom¹ (temps de recherche indépendant du nombre d'éléments)
- Type `context_t`

- Réalise la gestion de l'**empilement** et du **dépilement** des contextes
- Permet d'associer un nom de variable à sa définition dans le contexte le plus proche (interne)
- Chainage des contextes entre eux, type `env_t`
- **Difficulté** : calcul des offsets (en pile ou dans la section `.data`) des variables du programme

Module de l'allocateur de registres

- **Objectif** : déterminer le numéro des registres utilisés pour le calcul des expressions
- **Difficulté** : gérer le cas quand il n'y a plus de registres disponibles
- **Exemple** : $a = 1 + (2 + (3 + (4 + 5)))$;
- Expressions évaluées **de gauche à droite**, mais priorité liée aux parenthèses
- Code assembleur possible (utilise 5 registres) :

```
addiu r8, r0, 1
addiu r9, r0, 2
addiu r10, r0, 3
addiu r11, r0, 4
addiu r12, r0, 5
addu r11, r11, r12
addu r10, r10, r11
addu r9, r9, r10
addu r8, r8, r9
sw    r8, 4(r29) # adresse de a
```

Module de l'allocateur de registres

- Si l'on ne dispose maintenant que de 4 registres \Rightarrow Nécessaire de stocker des valeurs intermédiaires en pile

```
addiu r8, r0, 1  
addiu r9, r0, 2  
addiu r10, r0, 3  
sw    r10, 8(r29)  
addiu r10, r0, 4  
sw    r10, 12(r29)  
addiu r10, r0, 5
```

```
lw     r11, 12(r29)  
addu  r10, r11, r10  
lw     r11, 8(r29)  
addu  r10, r11, r10  
addu  r9, r9, r10  
addu  r8, r8, r9  
sw    r8, 4(r29)
```

- \Rightarrow Il faut allouer deux mots de plus en pile au début de la fonction (en même temps que les variables locales)
- **Remarque** : Ici, une optimisation basée sur la propagation des constantes permettrait de charger directement la valeur 15 dans un registre, mais ce problème se pose plus sérieusement dès qu'il y a des expressions plus complexes contenant des effets de bord (exemple : appels de fonctions)

- **Exemple** : si l'on enlève les parenthèses de l'expression précédente :

a = 1 + 2 + 3 + 4 + 5;

- Besoin uniquement de deux registres :

```
addiu r8, r0, 1
addiu r9, r0, 2
addu r8, r8, r9
addiu r9, r0, 3
addu r8, r8, r9
```

```
addiu r9, r0, 4
addu r8, r8, r9
addiu r9, r0, 5
addu r8, r8, r9
sw r8, 4(r29)
```

- **Remarque** : il s'agit d'une implémentation naïve, qui peut s'optimiser en utilisant directement des instructions addiu r8, r8, x (pas demandé pour le projet)

- L'interface fournie comporte beaucoup de fonctions
- ⇒ À vous de voir si vous voulez investir du temps pour maîtriser l'interface (peut aussi vous aider pour votre propre implémentation)
- Module complexe
- **Conseil** : dans un premier temps, faire un allocateur simple qui lève une erreur quand il n'y a plus de registre disponible, et ne s'attaquer au stockage des valeurs temporaires en pile que si vous êtes à l'aise avec le reste

- Fonction `dump_tree()` fournie dans le fichier `common.c`
- Produit un graphe de l'arbre au format `graphviz`, visualisable avec `dot` (ou `xdot`)
- Utilisation libre, pratique pour le débug
- Customizable

- Votre compilateur devra désallouer toutes les structures allouées et ne contenir aucune fuite mémoire lorsqu'il n'y a pas d'erreur de compilation
- Vérifié lors de l'évaluation
- Pensez à utiliser valgrind
- De plus :
 - Il faut appeler la fonction `yylex_destroy()` à la fin de votre `main()`
 - Il faut compiler le fichier produit par yacc avec l'option `-DYY_NO_LEAKS`
 - Déjà fait dans le code fourni...

- Fichiers : `lexico.l` (à compléter), `grammar.y` (à compléter), `common.c`, `common.h`, `libminicutils.a`
- Binaire `minicc` de référence et simulateur mips `Mars (Mars_4_2.jar)`
 - Dans une archive, à voir comment cette archive est distribuée
- **Remarque** : un groupe qui trouve un bug dans le compilateur de référence (ce que je considère être un bug) gagne 1 point de bonus sur sa note finale

- Travail en binôme (pas de trinôme)
 - Répartition des tâches libre (entre les binômes et dans le temps), mais les deux binômes doivent avoir une bonne connaissance du code
- Commencer par la partie lex et yacc
- Affichage des chaines de caractère : devrait être fait assez tôt
 - Utile pour votre propre débug et pour l'évaluation
- Scripts de test, tests de non-régression

- Rendre une archive au format .tar.gz contenant :
 - Le code (fichiers .c et .h)
 - Le ou les makefile(s)
 - Les scripts de tests
 - Les fichiers de test
 - Pas de binaire
- Écriture d'un petit rapport qui décrit l'architecture logicielle, les algorithmes utilisés, les modules annexes réalisés, l'infrastructure de test ainsi que les limitations et le bugs connus
- Normalement, pas de soutenance

- 20% : Syntaxe et passe de vérification
- 20% : Passe de génération de code
- 5% : Fuites mémoire
- 5% : Erreurs dynamiques (exemple : accès à des zones mémoires non initialisées ou non allouées)
- 10% : Tests de la passe de vérification
- 10% : Tests de la passe de génération de code
- 10% : Automatisation et scripts de tests
- 10% : Qualité d'écriture de votre code (style, indentation, nommage des variables, découpage en fonctions pertinent)
- 10% : Rapport

Remarque : Vos tests seront évalués de manière automatique

- Expérience personnelle passée : nombreux cas et sanctions (plus d'une centaine en 14 ans, 10 '0' en 2020 en Compilation, 4 '0' en 2022)
- Extrait du règlement :
En cas de fraude, l'élève est susceptible d'être déféré en section disciplinaire de l'établissement et s'expose aux sanctions suivantes :
 - *l'avertissement*
 - *le blâme*
 - *l'exclusion de l'établissement pour une durée maximum de 5 ans - cette sanction peut être prononcée avec sursis si l'exclusion n'excède pas 2 ans*
 - *l'exclusion définitive de l'établissement*
 - *l'exclusion de tout établissement public d'enseignement supérieur pour une durée maximum de 5 ans*
 - *l'exclusion définitive de tout établissement public d'enseignement supérieur.*
- Tout échange de code, y compris de fichiers de tests, entre deux binômes différents constitue une fraude et entraînera la note de 0 pour les deux membres des deux binômes et/ou la constitution d'un dossier auprès de l'instance compétente de l'université.
- Valable aussi pour les codes de l'année dernière : analyse automatique par des outils de recherche de plagiat
- **Conséquence** : protégez vos comptes et vos données

Compilation

Spécifications du projet

Ressources du projet

Déroulement du module

Compilation

Spécifications du projet

Ressources du projet

Déroulement du module

- **Conseil** : développement “transversal” aux passes : commencer par avoir la chaîne complète (exception : lexicographie et syntaxe) pour des programmes simples, puis prendre en compte de plus en plus d’aspects du langages (expressions, chaînes de caractère, variables globales, variables locales, structures de contrôle, etc.)
- ⇒ **Spécification par le test**
- Avancement indicatif par séance :
 - Séance 1 : TD
 - Séance 2 : Fichiers lex et yacc
 - Séance 3 : Ligne de commande, chaînes de caractères
 - Séance 4 : Variables globales, expressions
 - Séance 5 : Expressions (suite)
 - Séance 6 : Variables locales et structures de contrôle
 - Séance 7 : Structures de contrôle (suite), finalisation des modules
- Tests et scripts de test en parallèle
- Travailler en dehors des séances de TP

- Lisez et re-lisez le polycopié
- Faites des tests
- Utilisez valgrind
- Rendre un code que vous n'avez pas écrit est rarement un bon pari