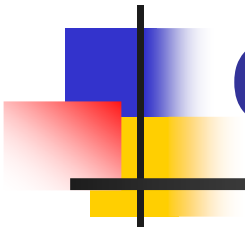
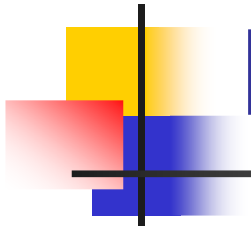


Compilation Avancée

ENSIIE – S5

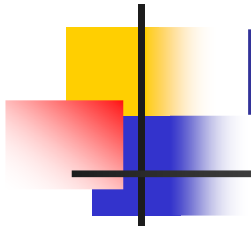
Cours 3 : Dominance & Directives

patrick.carribault@cea.fr



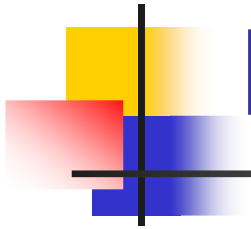
Plan

- Définition des passes dans GCC 9.1.0
- Dominance / Postdominance
- Gestion des directives



Plan

- Définition des passes dans GCC 9.1.0
- Dominance / Postdominance
- Gestion des directives



Passes de transformation

- Gestion des passes dans GCC 9
  - ➔ Principalement en C++
  - Construction basée sur une compatibilité simplifiée avec les précédentes versions en C
- Données nécessaires pour définir une passe
  - Information sur le type de passe (middle-end GIMPLE, back-end RTL ou inter-procédurale IPA)
  - Nom de la passe
  - Propriétés en entrée / sortie
  - Fonctions de décision et d'exécution

Définition d'une passe

- Object définissant une passe
  - `opt_pass` dans `tree-pass.h`
- Fonctions membres
  - Constructeur
  - Destructeur
  - Passage d'un argument à la passe
  - Décision d'exécution
  - Exécution
  - Constructeur
  - …
- Implémentation par défaut ?

```
class opt_pass : public pass_data
{
  public:
   virtual ~opt_pass () { }
   virtual opt_pass *clone ();
   virtual void set_pass_param (unsigned
int, bool);
   virtual bool gate (function *fun);
   virtual unsigned int execute (function
*fun);

  protected:
   opt_pass (const pass_data&, gcc::context
*);

  public:
   opt_pass *sub;
   opt_pass *next;
   int static_pass_number;

  protected:
   gcc::context *m_ctxt;
};
```

Comportement par défaut

```
opt_pass *
opt_pass::clone ()
{
  internal_error ("pass %s does not support
cloning", name);
}
```

➔ Besoin de surcharger clone si nécessaire (notamment dans le cas d'un plugin car la passe est copiée en interne)

```
void
opt_pass::set_pass_param (unsigned int,
bool)
{
  internal_error ("pass %s needs a
set_pass_param implementation to handle
the"
                  " extra argument in
NEXT_PASS", name);
}
```

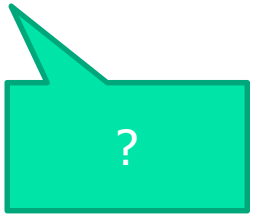
➔ Besoin de surcharger si la passe prend un argument en entrée

- Gate / execute par défaut :

```
bool
opt_pass::gate (function *)
{
  return true;
}

unsigned int
opt_pass::execute (function *)
{
  return 0;
}
```

- Constructeur par défaut

```
opt_pass::opt_pass (const pass_data &data,
context *ctxt)
  : pass_data (data),
    sub (NULL),
    next (NULL),
    static_pass_number (0),
    m_ctxt (ctxt)
{
}
```



Données d'une passe

- Données d'une passe
  ➔ Objet de type pass_data

- Informations contenues dans cet objet
  - Type de passe
  - Nom de la passe
  - Différentes propriétés

```
struct pass_data
{
  enum opt_pass_type type;
  const char *name;
  unsigned int optinfo_flags;
  timevar_id_t tv_id;
  unsigned int
properties_required;
  unsigned int
properties_provided;
  unsigned int
properties_destroyed;
  unsigned int
todo_flags_start;
  unsigned int
todo_flags_finish;
};
```

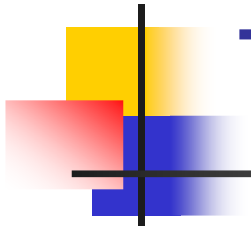
Type de passe

- Définition du type de passe dans fichier tree-pass.h

```
/* Optimization pass
type.  */
enum opt_pass_type
{
  GIMPLE_PASS,
  RTL_PASS,
  SIMPLE_IPA_PASS,
  IPA_PASS
};
```

- Exemple de passe intra-procédurale du middle-end (GIMPLE)

```
/* Description of GIMPLE pass.
*/
class gimple_opt_pass : public
opt_pass
{
protected:
  gimple_opt_pass (const
pass_data& data, gcc::context
*ctxt)
    : opt_pass (data, ctxt)
  {
  }
};
```



Type de passe

- Passe intra-procédurale middle-end (GIMPLE)

```
class gimple_opt_pass : public opt_pass
```

- Passe intra-procédurale back-end (RTL)

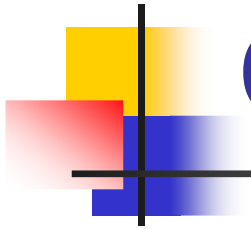
```
class rtl_opt_pass : public opt_pass
```

- Passe inter-procédurale complexe

```
class ipa_opt_pass_d : public opt_pass
```

- Passe inter-procédurale simple

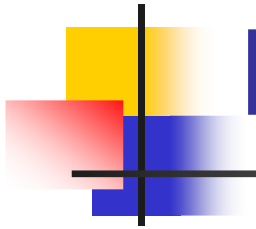
```
class simple_ipa_opt_pass : public opt_pass
```



Comment définir une passe ?

- Etapes de création d'une passe

1. Création d'une classe qui hérite du type de classe souhaitée
   - Par exemple `gimple_opt_pass`
2. Surcharge des méthodes nécessaires
   1. `clone` si utilisation via un plugin
   2. `gate/execute`
3. Création d'un objet de type `pass_data`
   1. Doit contenir les informations de la passe comme le nom et le type de passe
4. Utilisation des informations de type `pass_data` dans le constructeur dédié



Manipulation dans une passe

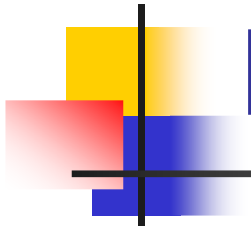
- Cadre du cours : utilisation d'une passe du middle-end intra-procédurale (GIMPLE)
- Fonctions gate/execute prend en argument un objet de type function
- Fonction courante définie comme une variable globale
  - GCC assure la cohérence entre la fonction courante et la déclaration de cette fonction

```
function.h:extern GTY(()) struct function *cfun;
tree-core.h:extern GTY(()) tree current_function_decl;

/* The function currently being compiled.  */
extern GTY(()) struct function *cfun;

/* In order to ensure that cfun is not set directly,
   we redefine it so that it is not an lvalue.
   Rather than assign to cfun, use push_cfun or set_cfun.  */
#define cfun (cfun + 0)
```

Nom de la fonction courante

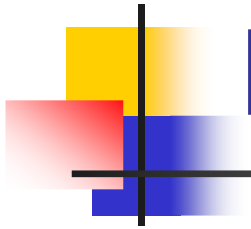
- Possibilité d'afficher le nom de la fonction courante en cours de compilation
  - Implémentation de ces fonctions dans le fichier `function.c`

```
/* Returns the name of the current function.  */

extern const char *fndecl_name (tree);

extern const char *function_name (
     struct function *);

extern const char *current_function_name (void);
```



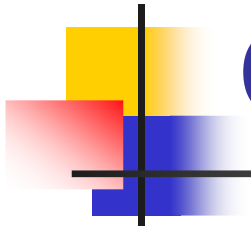
Manipulation de l'IR

- IR : CFG (graphe de flot de contrôle)
- Possibilité de parcourir
  - les nœuds (BB)
  - Le contenu des nœuds (statements GIMPLE)
- Correction TD2…



Plan

- Définition des passes dans GCC 8.1.0
- Dominance / Postdominance
- Gestion des directives

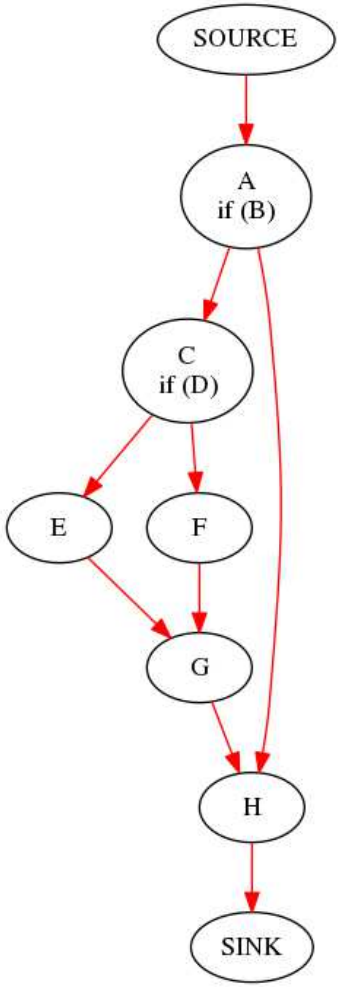


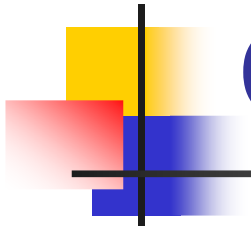
Graphe de flot de contrôle

- Etude de l'enchainement possible des instructions dans une fonction
  - Graphe de flot de contrôle (CFG : Control-Flow Graph)
  - Notation G = (V,E)
- Nœud → Bloc de base (*basic block* ou BB)
  - Séquence d'instructions s'exécutant à la chaîne
  - Pas possible de commencer un BB en plein milieu
  - Pas possible de quitter avant la fin
- Arc → possibilité de continuer
- Remarques
  - CFG peut être un DAG (Cycle → Boucle dans le code)
  - Création d'un nœud unique source et puit
    - GCC a besoin de ces nœuds artificiels

Graphe de flot de contrôle

```
void f() {
   A;
   if (B) {
      C;
      if (D) {
         E;
      } else {
         F;
      }
      G;
   }
   H;
}
```





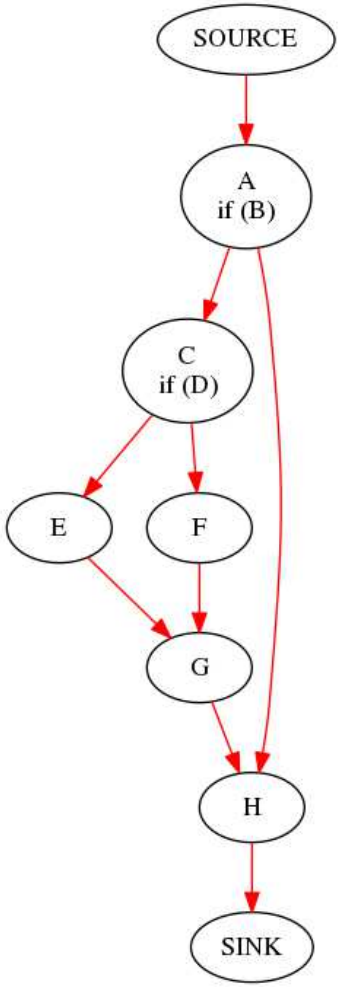
Chemin

- Notion de chemin
  - Séquence de nœuds (ordre important)
  - Les nœuds consécutifs sont reliés ensemble par un arc

- Notation
  - Premier nœud X et dernier nœud Y : X →* Y
  - Si le chemin n'est pas vide : X →+ Y

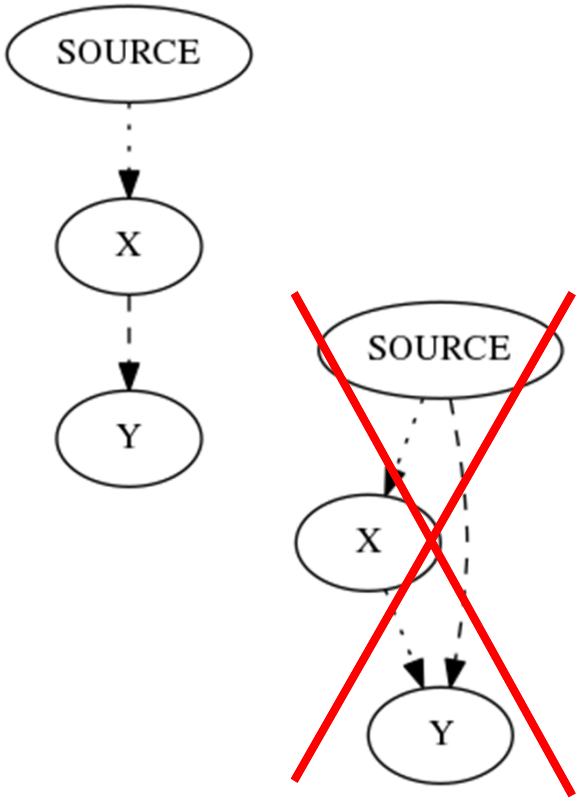
Chemin

- Exemple précédent
  - CFG d'une fonction
- Chemins existants
  - A → G
  - SOURCE → SINK
- Chemins non présents
  - F → A
  - H → C
  - SINK → SOURCE



Dominance

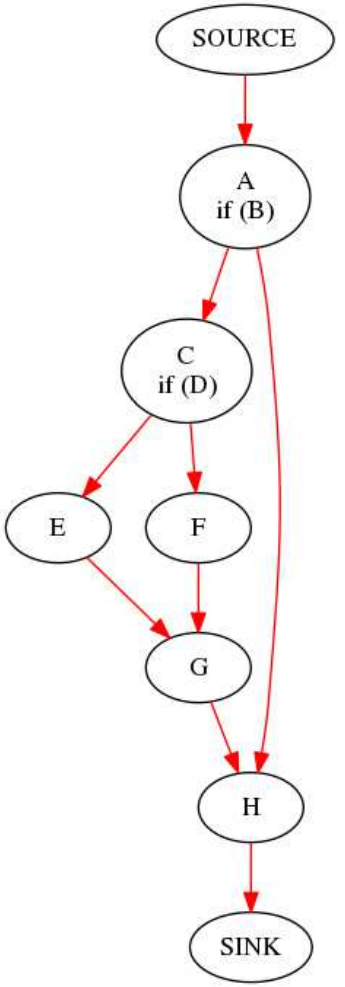
- Définition :
  - un nœud X domine un nœud Y si tous les chemins de la SOURCE à Y passent par X



- Notation :
  - X dom Y

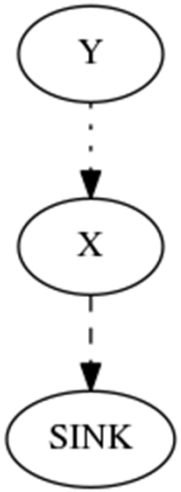
Dominance

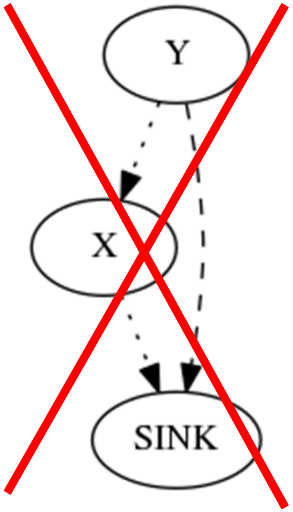
- Exemple précédent
  - CFG d'une fonction
- Exemples de dominance
  - C dom G
  - A dom H
- Exemples faux
  - F dom G
  - C dom H



Post-Dominance

- Définition :
  - un nœud X post-domine un nœud Y si tous les chemins de Y au puits passent par X

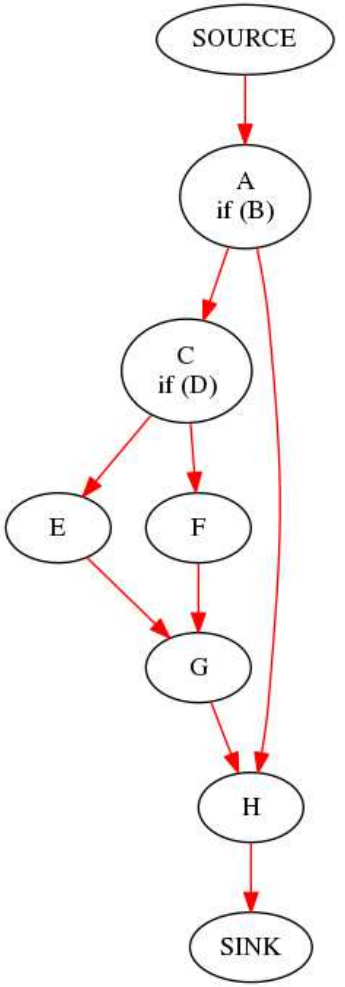




- Notation :
  - X pdom Y

Post-Dominance

- Exemple précédent
  - CFG d'une fonction
- Exemples de dominance
  - G pdom C
  - H pdom A
- Exemples faux
  - F pdom C
  - C pdom A



Relation de dominance

- Equation *dataflow* pour la domination
  - Permet de calculer la notion de dominance entre nœuds

$$\textsc{Dom}(n_0) = \{n_0\}$$

$$\textsc{Dom}(n) = \left(\bigcap_{p \in preds(n)} \textsc{Dom}(p) \right) \cup \{n\}$$

- Implémentation sous forme d'un algorithme itératif

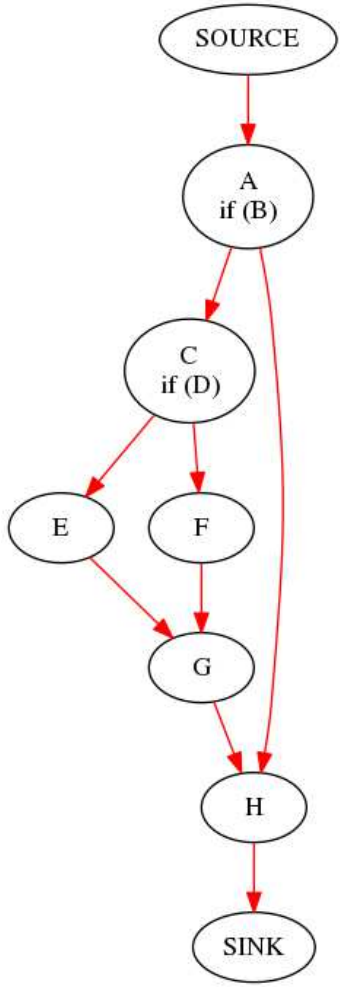
Calcul de dominance

- Tableau contenant l'ensemble des dominateurs d'un nœud :
  - `Dom`
- Processus itératif

```
for all nodes, n
    DOM[n] ← {1 ... N}
Changed ← true
while (Changed)
    Changed ← false
    for all nodes, n, in reverse postorder
        new_set ← (⋂_{p∈preds(n)} DOM[p]) ⋃ {n}
        if (new_set ≠ DOM[n])
            DOM[n] ← new_set
            Changed ← true
```

Calcul de dominance

- Etat initial
  - Dom[*] = {SOURCE, …, SINK}
- Itération 1
  - DOM[SOURCE] = {SOURCE}
  - DOM[A] = {A} and DOM[SOURCE] = {SOURCE, A}
  - …
  - DOM[SINK] = {SOURCE, …, SINK}
- Itération 2 ?



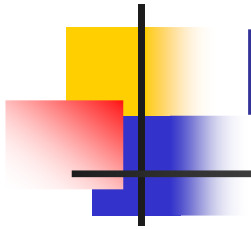
Dominance dans GCC

- GCC propose déjà la notion de dominance

```
enum cdi_direction
{
  CDI_DOMINATORS = 1,
  CDI_POST_DOMINATORS = 2
};
```

- Fonctions/structures accessibles dans le fichier `dominance.h`

```
extern void
calculate_dominance_info
(enum cdi_direction);
```

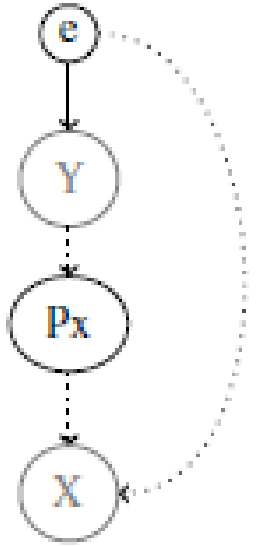


Frontière de dominance

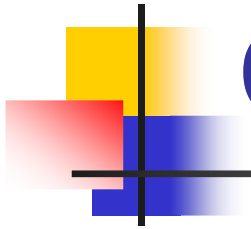
- Au-delà de la dominance
  - Intérêt de connaître ce qu'il se passe quand un nœud n'en domine pas un autre
  - ➔ Définition de la frontière de dominance
- Idée
  - Capturer les nœuds qui sont proches des nœuds dominés
  - On dit qu'ils sont à la frontière de dominance
  - Notion de blocs « juste après »

Frontière de dominance

- Définition
- Utilisation de la dominance



$$DF(Y) = \{X | \exists Px \in preds(X), Y \underline{\gg} Px \text{ and } Y \not\gg X\}$$



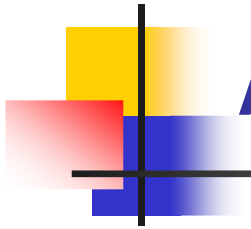
Calcul de DF

- Algorithme issu de Cooper, Harvey et Kennedy
- Par du constat qu'un nœud est à la frontière de dominance s'il correspond à la jonction du flot de contrôle
  - ➔ Ce nœud a au moins 2 prédécesseurs
- Le chemin des dominants (à travers l'arbre de domination) concerne la même frontière
- Tant qu'on obtient pas un nœud qui domine le nœud de départ à traiter

Algorithme de DF

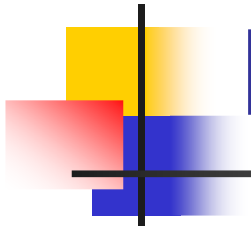
```
for all nodes, b
    if the number of predecessors of b ≥ 2
        for all predecessors, p, of b
            runner ← p
            while runner ≠ doms[b]
                add b to runner's dominance frontier set
                runner = doms[runner]
```

Figure 5: The Dominance-Frontier Algorithm



Application à SSA

- Représentation classique en compilation → SSA
  - Static Single Assignment
- Chaque variable est écrite une seule fois
  - S'il existe une variable écrite plusieurs fois ➔ génération de nouvelles variables suffixées avec un entier
- Besoin de mettre à jour les lectures…



Exemple SSA

- Sans SSA

```
a = b + c ;
b = a + 3 ;
a = b + c ;
b = 2 ;
c = b + 4 ;
```

- Avec SSA

```
a_1 = b + c ;
b_1 = a + 3 ;
a_2 = b + c ;
b_2 = 2 ;
c_1 = b + 4 ;
```

Exemple SSA

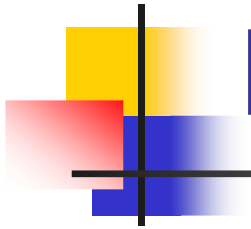
- Sans SSA

```
a = b + c ;
b = a + 3 ;
a = b + c ;
b = 2 ;
c = b + 4 ;
```

- Avec SSA

```
a_1 = b_0 + c_0 ;
b_1 = a_1 + 3 ;
a_2 = b_1 + c_0 ;
b_2 = 2 ;
c_1 = b_2 + 4 ;
```

Avec un if/else ?



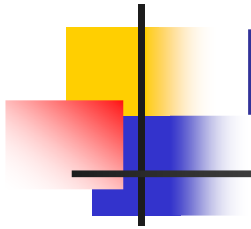
Exemple SSA

- Sans SSA

```
a = b + c ;
if (a) {
 b = a + 3 ;
 a = b + c ;
}
c = b + a ;
```

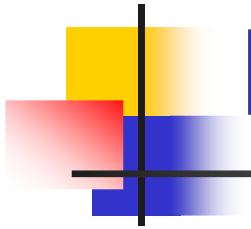
- Avec SSA

```
a_1 = b_0 + c_0 ;
if (a_1) {
 b_1 = a_1 + 3 ;
 a_2 = b_1 + c_0;
}
c_0 = b + a ;
```



Fonctions Phi

- Les variables peuvent avoir un contenu différent en fonction du chemin parcouru
- Besoin de capturer cette information
  - ➔ jonction du flot de contrôle
- Ajout de fonction phi pour modéliser cette action



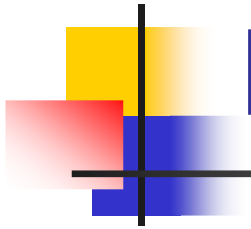
Exemple SSA

- Sans SSA

```
a = b + c ;
if (a) {
 b = a + 3 ;
 a = b + c ;
}
c = b + a ;
```

- Avec SSA

```
a_1 = b_0 + c_0 ;
if (a_1) {
 b_1 = a_1 + 3 ;
 a_2 = b_1 + c_0;
}
b_2 = Phi(b_0,b_1) ;
a_3 = Phi(a_1,a_2) ;
c_0 = b_2 + a_3 ;
```

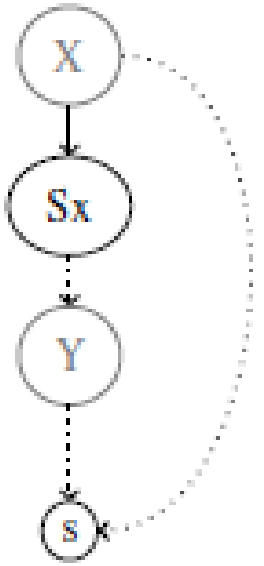


Fonctions Phi

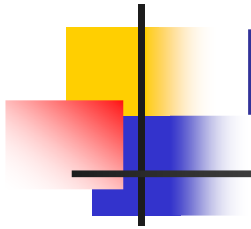
- Comment ajouter ces fonction phi ?
- Utilisation de la frontière de dominance pour connaître les endroits
- SSA
  - Simplification de certaines transformations
  - Passe de De-SSA pour supprimer les fonctions Phi (avant le passer dans le back-end du compilateur)

Frontière de post-dominance

- Définition
- Utilisation de la post-dominance

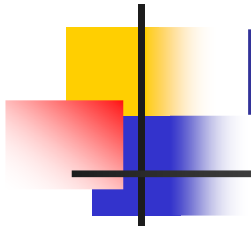


$$PDF(Y) = \{X | \exists S\, x \in succs(X), Y \gg_p S\, x \text{ and } Y \not\gg_p X\}$$



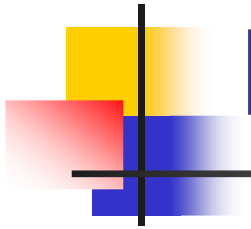
DF dans GCC

- Fonction disponible dans le fichier `cfganal.h`
  - `extern void compute_dominance_frontiers (struct bitmap_head *);`
- Application de l'algorithme précédent
- Pas de calcul de la frontière de post-dominance (PDF) !



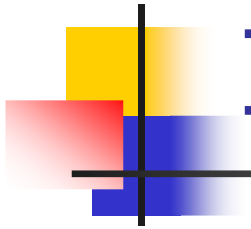
PDF et Projet

- Application de la PDF au projet
  - Lien avec MPI
- Besoin d'étendre sur 2 aspects
  - PDF d'un ensemble
  - Frontière itérée
- …



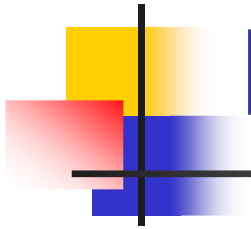
Plan

- Définition des passes dans GCC 8.1.0
- Dominance / Postdominance
- Gestion des directives



Introduction à OpenMP

- Modèle de programmation parallèle
  - Exploitation du parallélisme de données
  - Exploitation du parallélisme de tâches (depuis OpenMP 3.0)
- Mémoire partagée
  - Exécution sur un nœud de calcul
  - Possibilité d'extension à de la mémoire distribuée (DSM – Distributed Shared Memory)
    - Par exemple Intel Cluster OpenMP
- Basé sur des threads
- Exemple de coopération entre un compilateur et une bibliothèque



Historique d'OpenMP

- Gestion par l'OpenMP ARB *(Architecture Review Board)*
- OpenMP 1.0 pour Fortran
  - Octobre 1997
- OpenMP 1.0 pour C/C++
  - Octobre 1998
- OpenMP 2.0 pour Fortran → 2000
- OpenMP 2.0 pour C/C++ → 2002
- OpenMP 2.5
  - Unification de la norme pour Fortran et C/C++
  - Sortie en Mai 2005
- OpenMP 3.0
  - Ajout du support du parallélisme de tâches
  - Sortie en Mai 2008 (remplacée par OpenMP 3.1 depuis 2011)
- OpenMP 4.0
  - Gestion des accélérateurs
- OpenMP 5.0 (2018)
  - Gestion de multiples mémoires
  - Interface avec outils (OMPT)

Exemple de programme OpenMP

- Exemple de code séquentiel
- Addition de 2 vecteurs
  - Fonction `vectAdd`
- Parallélisme disponible dans cette fonction ?
- OUI, sur la boucle, mais
  - Indépendance des zones d'allocation de a, b et c

```
void vecAdd( double * a,
  double * b,
  double * c,
  int N ) {
   int i;
   for ( i=0 ; i<N ; i++) {
        c[i] = a[i] + b[i];
   }
}
```

Exemple de programme OpenMP

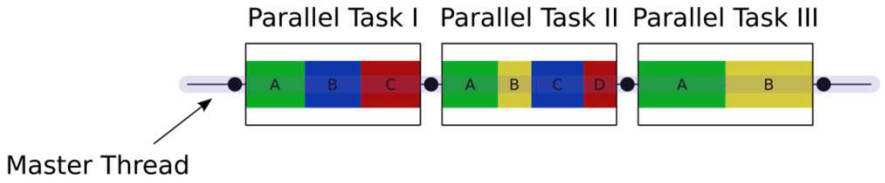
- Exploitation du parallélisme de données dans la boucle
- Ajout d'une directive pour la parallélisation

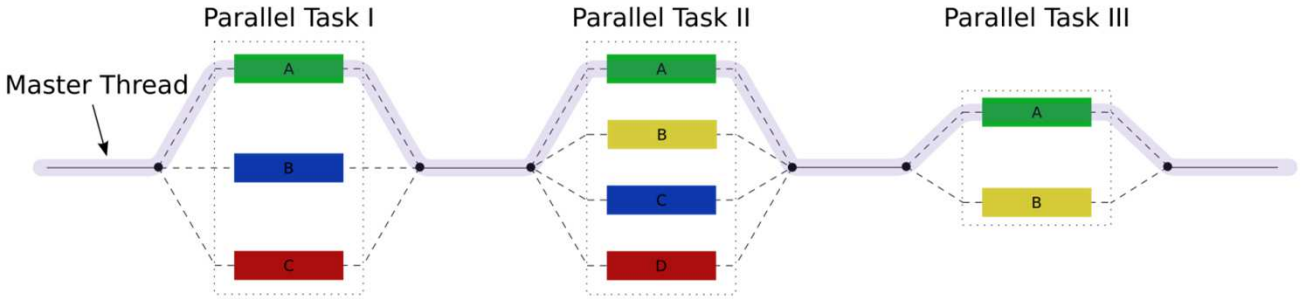
- Effets de cette directive
  - Création d'une région parallèle
  - Partage du domaine d'itérations de la boucle entre les threads participant à la région parallèle
  - Chaque thread a une copie privée de la variable `I`
  - La fin de la région parallèle implique une barrière
- Concrètement
  - Avec `T` threads
  - Le thread 0 va exécuter les `N/T` premières itérations
  - Le thread 1 va exécuter les `N/T` itérations suivantes
  - …

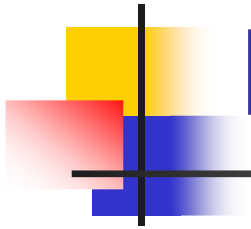
```
void vecAdd( double * a,
  double * b,
  double * c,
  int N ) {
#pragma omp parallel for\
   private(i)
  for (i=0; i<N; i++) {
    c[i] = a[i] + b[i] ;
  }
}
```

Modèle d'exécution d'OpenMP

- Modèle d'exécution fork/join
  - Entrée dans une région parallèle → fork
  - Sortie de région parallèle → join (barrière)
  - A l'intérieur : coopération entre les threads grâce à des constructions dédiées (comme `#pragma omp for`)

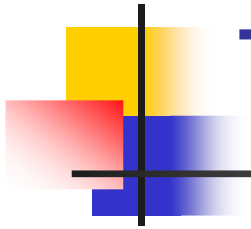






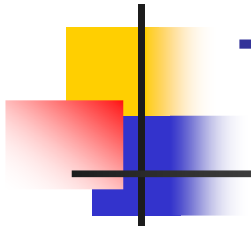
Plan du cours

- Gestion des directives OpenMP dans GCC
  - Introduction à OpenMP
  - Transformation manuelle
  - Implémentation dans le compilateur GCC



Transformation manuelle

- Comment transformer le code source avec directives OpenMP en code qui s'exécute en parallèle ?
- Participation du compilateur et d'une bibliothèque externe
- Dans GCC :
  - Le compilateur transforme le code et génère les appels à la bibliothèque GOMP (GCC OpenMP)
  - GOMP est en charge de la création/maintenance des threads et des synchronisations/communications entre eux



Transformation manuelle - Etapes

- Etude du flot de données
  - Quelles variables sont en vie dans la région parallèle ?
- Création d'une structure intermédiaire
  - On copiera les variables nécessaire au flot de données de la région parallèle
- Extraction de la région parallèle dans une nouvelle fonction (*outlining*)
- Restauration du flot de données
  - Copie des données de la structure intermédiaire
- Appel au *runtime* pour le démarrage de la région parallèle
  - Appel à une fonction de la bibliothèque OpenMP avec un pointeur sur la nouvelle fonction extraite

- Tout ceci est fait en pratique par le compilateur GCC
- Application manuelle sur notre code d'exemple !

Etude du flôt de données

- Etude du flot de données dans notre fonction `vectAdd`
- Les variables `a`, `b`, `c`, `N` et `i` sont utilisées de la région parallèle
  - La variable `i` est déclarée privée dans la région parallèle
  - Chaque thread va avoir sa propre copie
- Elles sont *en vie* avant et après la région parallèle

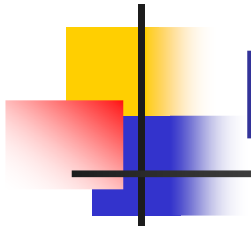
```
void vecAdd( double * a,
  double * b,
  double * c,
  int N ) {
  int i ;
#pragma omp parallel for\
   private(i)
   for (i=0; i<N; i++) {
     c[i] = a[i] + b[i] ;
   }
}
```

Création d'une structure

- Création d'une structure
  - Un champ par variable en entrée de la région parallèle
  - Les variables *private* ne sont pas concernées
- Cette structure est ensuite remplie avec les bonne données
- Dans notre exemple
  - Transfert de a
  - Transfert de b
  - Transfert de c
  - Transfert de N

```
struct _s {
    double * _a ;
    double * _b ;
    double * _c ;
    int _N ;
  };

void vecAdd( double * a,
  double * b,
  double * c,
  int N ) {
  int i;
  struct _s s ;
  s._a = a ;
  s._b = b ;
  s._c = c ;
  s._N = N ;
#pragma omp parallel for\ private(i)
    for (i=0; i<N; i++) {
      c[i] = a[i] + b[i] ;
    }
}
```

Extraction de la région parallèle



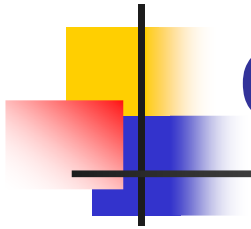
- L'étape 3 consiste en l'extraction de la région parallèle en une nouvelle fonction
  - *Outlining* de fonction
  - Par opposition à l'*inlining*
- Déroulement
  - Sélection du bloc délimitant la région parallèle
  - Dans notre cas, il s'agit juste de la boucle `for`
  - Création d'une nouvelle fonction nommée `omp1` (importance de l'unicité du symbole)
  - Passage en argument d'une structure de donnée intermédiaire pour rétablir le flôt de données

Extraction de la région parallèle

```
 struct _s {
    double * _a ;
    double * _b ;
    double * _c ;
    int _N ;
  } ;


void vecAdd( double * a,
  double * b,
  double * c,
  int N ) {
  int i;
  struct _s s ;
  s._a = a ;
  s._b = b ;
  s._c = c ;
  s._N = N ;
  GOMP_start_parallel(omp1, &s);
}
```

```
void omp1( struct _s * s) {
  int i;
  double * a ;
  double * b ;
  double * c ;
  int N ;
  int min ;
  int max ;

  // Calcul des bornes
  // de l'espace d'itérations
  min = … ;
  max = … ;

  for (i=min; i<max; i++) {
      c[i] = a[i] + b[i] ;
    }
}
```

Restauration du flot de données

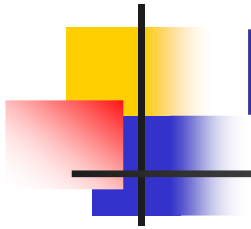


- Appel d'une fonction interne à la bibliothèque OpenMP pour démarrer une région parallèle
- En pratique, lance plusieurs threads ou réveil certains threads dormant
- Parmi les paramètres d'entrée : notre structure
- Ajout d'affectations au début de la nouvelle fonction pour mettre à jour les variables

Restoration du flot de données

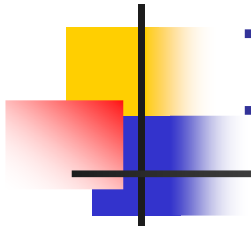
```
void vecAdd( double * a,
  double * b,
  double * c,
  int N ) {
  int i;
  struct {
    double * _a ;
    double * _b ;
    double * _c ;
    int _N ;
  } s ;
  s._a = a ;
  s._b = b ;
  s._c = c ;
  s._N = N ;
  GOMP_start_parallel(omp1, &s);
}
```

```
void omp1( struct _s * s) {
  int i;
  double * a ;  double * b ;
  double * c ;  int N ;
  int min ;
  int max ;

  // Calcul des bornes
  // de l'espace d'itérations
  min = … ;
  max = … ;

  a = s->_a ;
  b = s->_b ;
  c = s->_c ;
  N = s->_N ;

  for (i=min; i<max; i++) {
    c[i] = a[i] + b[i] ;
  }
}
```



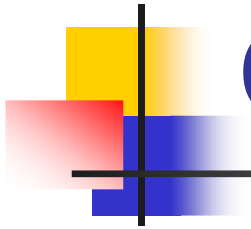
Plan du cours

- Gestion des directives OpenMP dans GCC
  - Introduction à OpenMP
  - Transformation manuelle
  - Implémentation dans le compilateur GCC



Implémentation dans GCC

- Toutes les étapes de cette transformation sont assurées par le compilateur
- Cahier des charges
  - Gestion des pragmas (syntaxe, sémantique, …)
  - Création de nouvelles fonctions (gestion des symboles)
  - Analyse du flot de données
  - Création de nouvelles structures
  - Ajout d'appels de fonctions
  - Support d'une bibliothèque OpenMP
- Détails dans les différentes parties de GCC



Gestion des pragmas

- Enregistrement dans le préprocesseur
- Concerne les langages C et C++
  - GCC supporte également OpenMP dans les applications FORTRAN
  - Le support des directives est alors un peu différent (commentaires spéciaux dans le code source)
- Permet de laisser passer les pragmas
- Gestion réelle par le front-end

Gestion des pragmas

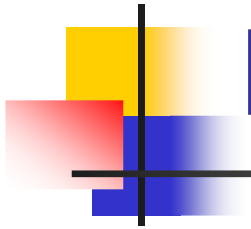
- Fichier `gcc/c-family/c-pragma.c`
- Structure contenant les informations sur les directives

```
struct const omp_pragma_def omp_pragmas[] = {
        { "parallel", PRAGMA_OMP_PARALLEL},
        …
}
```

- Enregistrement des directives dans le préprocessor

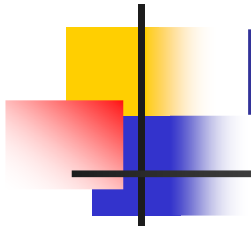
```
if (flag_openmp)
        for (  i = 0 ; i < n_omp_pragmas ; i++ )
                cpp_register_deferred_pragma(parse_in, "omp", omp_pragmas[i].name,
                  omp_pragmas[i].id, true, true ) ;
```

- Note : dépend des options de compilation
  - La variable `flag_openmp` est automatiquement générée pendant la compilation de GCC et est mise à 1 lorsque l'option `-fopenmp` est activée pendant la compilation d'un fichier



Front-end

- Transforme les directives en nœuds de la RI
  - Représentation GENERIC
- Pragmas viennent du préprocesseur
- Certaines constructions OpenMP sont directement transformées en appels de fonction
  - Exemple : `#pragma omp barrier`
  - Devient lors du front-end : `GOMP_Barrier() ;`
- Création de noeud (*tree code*) spéciaux
  - OMP_PARALLEL pour les région parallèles



Front-end

- Fichier `gcc/c/c-parser.c`
- Fonction `c_parser_pragma`
  - Général pour tous les pragmas du langage C
- Sélection sur les directives OpenMP à transformer directement
  - Certaines directives sont traités directement (exemple : `PRAGMA_OMP_BARRIER`)
  - Dans ce cas : appel à une fonction qui termine la transformation (ex : appel à `c_parser_omp_barrier`)
- Concernant les autres directives :
  - Appel à fonction `c_parser_omp_construct`
  - Sélection sur le nom des directives

Front-end – Barrière OpenMP

- Fichier `gcc/c-family/c-omp.c`
- Fonction `c_finish_omp_barrier()`

```
void
c_finish_omp_barrier(location_t loc) {
    tree x;
    x = built_in_decls[BUILT_IN_GOMP_BARRIER];
    x = build_call_expr_loc(loc, x, 0)
    add_stmt (x);
}
```

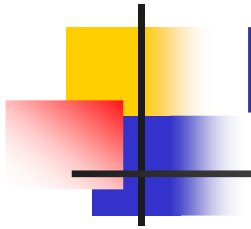
- Effets
  - Création d'un appel de fonction
  - Cette fonction est *built-in* (définie dans le fichier `omp-builtins.def`) → `GOMP_barrier()`
  - Ajout de cet appel aux *statements* courants

Front-end – Région parallèle

- Fichier gcc/c/c-typeck.c
- Fonction c_finish_omp_parallel
  - Après avoir parsé les clauses

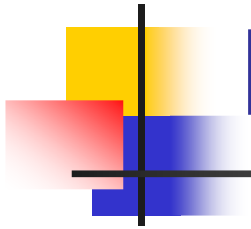
```
void
c_finish_omp_parallel(location_t loc, tree clauses, tree block) {
        tree stmt;
        block = c_end_compound_stmt (loc, block, true);
        stmt = make_node (OMP_PARALLEL);
        TREE_TYPE (stmt) = void_type_node;
        OMP_PARALLEL_CLAUSES (stmt) = clauses;
        OMP_PARALLEL_BODY (stmt) = block;
        SET_EXPR_LOCATION (stmt, loc);
        return add_stmt (stmt);
}
```

- Effets :
  - Création d'un noeud de *code* OMP_PARALLEL
  - Le type est considéré comme *void*
  - L'emplacement dans le fichier source est lié grâce à la structure *location_t*



Front-end → Middle-end

- Une fois les fonctions parsées, la représentation intermédiaire évolue
  - Passage de GENERIC à GIMPLE
  - Nom de code : *gimplification*
- Fichier `gimplify.c`
  - Fonction `gimplify_expr()`
  - Sélection sur la valeur du *tree code*
  - Dans le cas de `OMP_PARALLEL`
    - Appel à `gimplify_omp_parallel()`
    - Création du noeud `GIMPLE_OMP_PARALLEL`



Middle-end

- Bilan en entrée du middle-end
  - Les directives ont été parsées
  - Certaines ont déjà été transformées en appels de fonction à la bibliothèque GOMP
  - Les autres ont été intégrées à la représentation GIMPLE
- Le coeur principal de la gestion OpenMP se situe dans le middle-end
- Gestion en 2 transformations (fichier `omp-low.c`)
  - `omp-low`
  - `omp-exp`
- Place dans le pass manager
  - Fichier passes.c
  - Fonction `init_optimizations_passes()`
  - `NEXT_PASS(pass_lower_omp)`
  - `NEXT_PASS(pass_expand_omp)`

Middle-end - Exemple

- Revenons à notre exemple
  - Addition de 2 vecteurs
  - Fonction `vecAdd`
  - Fichier test.c.008t.omplower

```
void vecAdd( double * a,
  double * b,
  double * c,
  int N ) {
  int i ;
#pragma omp parallel for\
   private(i)
   for (i=0; i<N; i++) {
     c[i] = a[i] + b[i] ;
   }
}
```

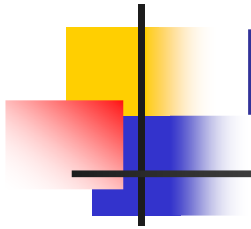
```
void vecAdd( /* … */ ) {
     struct .omp_data_s.0 .omp_data_o.1
        ;
     int i;
     .omp_data_o.1.a = a;
     .omp_data_o.1.b = b;
     .omp_data_o.1.c = c;
     .omp_data_o.1.N = N;
     // …
     a = .omp_data_o.1.a ;
     b = .omp_data_o.1.b ;
     c = .omp_data_o.1.c ;
     N = .omp_data_o.1.N ;
}

void
   vectAdd.omp_fn.0(.omp_data_o.1
   ) {
     .omp_data_i = &.omp_data_o.1
     D.3455 = .omp_data_i->N ;
}
```

Middle-end - Exemple

- Revenons à notre exemple
  - Addition de 2 vecteurs
  - Fonction vecAdd
  - Ficheir test.c.022t.ompexp

```
void vecAdd( double * a,
  double * b,
  double * c,
  int N ) {
  int i ;
#pragma omp parallel for\
   private(i)
   for (i=0; i<N; i++) {
     c[i] = a[i] + b[i] ;
   }
}
```

```
void vecAdd( /* … */ ) {
    struct .omp_data_s.0
       .omp_data_o.1 ;
    int i;
    .omp_data_o.1.a = a;
    .omp_data_o.1.b = b;
    .omp_data_o.1.c = c;
    .omp_data_o.1.N = N;
    // …
    __builtin_GOMP_parallel_start
       ( vectAdd.omp_fn.0,
       &.omp_data_o.1, 0);
    vectAdd.omp_fn.0(
       &.omp_data_o.1);
    __builtin_GOMP_parallel_end()
       ;
    // …
}
```



Directive et plugin

- Possibilité de déclarer de nouvelles directives dans un plugin
- Utilisation d'un évènement dédié
- Démo…