

Analyse de vie des temporaires

Alexis Nasr
Franck Dary
Pacôme Perrotin

Compilation – L3 Informatique
Département Informatique et Interactions
Aix Marseille Université

Vie des temporaires

- Le nombre de temporaires d'un programme est illimité.
- Le nombre de registres d'un processeur est limité.
- Mais deux temporaires t_1 et t_2 peuvent être mis dans le même registre **s'ils ne sont jamais utilisés en même temps**.
- On analyse le pré-assembleur pour savoir si deux temporaires sont utilisés au même moment.

Vie des temporaires

- Un temporaire est dit **vivant** s'il contient une valeur qui sera utilisée dans le futur.
- L'**analyse de vie** des temporaires consiste à identifier, pour chaque instruction i du pré-assembleur, quelles temporaires sont en vie au moment de l'exécution de i .

Graphe d'analyse

- On représente le programme sous la forme d'un graphe orienté.
- Chaque instruction du programme correspond à un sommet.
- Si l'instruction I_0 peut être suivie par l'instruction I_1 , on crée un arc de I_0 vers I_1 .
- Cette analyse est illustrée ici sur du code trois adresse, mais elle s'applique aussi au pré-assembleur.

Exemple

Programme en L

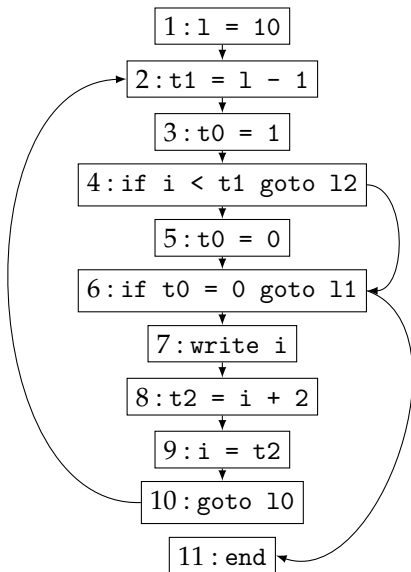
```
entier l, entier i;
main()
{
  l = 10;
  tantque i < (l - 1) faire
  {
    ecrire(i);
    i = i + 1;
  }
}
```

Programme en C3a

```
main fbegin
    l = 10
10   t1 = l - 1
      t0 = 1
      if i < t1 goto 12
      t0 = 0
12   if t0 = 0 goto 11
      write i
      t2 = i + 1
      i = t2
      goto 10
11   fend
```

Graphe d'analyse

```
main fbegin
  l = 10
10  t1 = l - 1
    t0 = 1
    if i < t1 goto 12
    t0 = 0
12  if t0 = 0 goto 11
    write i
    t2 = i + 1
    i = t2
    goto 10
11  fend
```

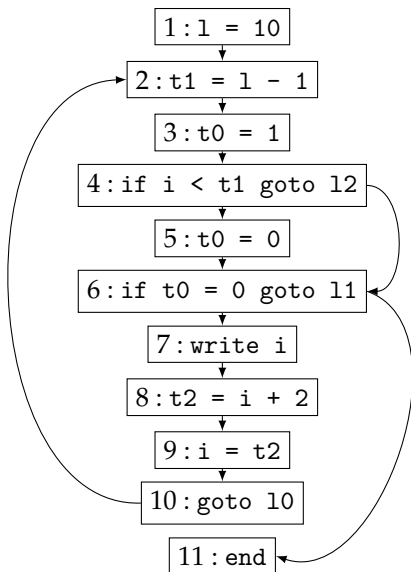


Parcours du graphe d'analyse

- On part de l'utilisation d'une variable t .
- On "remonte" à la recherche de l'instruction qui spécifie la valeur de t (en général une affectation).
- t est vivante sur tout le chemin menant de sa spécification à son utilisation.

Exemple

- t_2 est utilisée en 9 et elle est définie en 8, elle est donc vivante sur l'arc $8 \rightarrow 9$
- t_0 est utilisée en 6, et elle est définie en 5, elle est donc vivante sur l'arc $5 \rightarrow 6$
- mais t_0 est aussi définie en 3 et il existe un arc entre 3 et 4 puis entre 4 et 6, elle est donc vivante sur les arcs $3 \rightarrow 4$ et $4 \rightarrow 6$.
- t_1 est utilisée en 4 et définie en 2. Elle est donc vivante sur les arcs $2 \rightarrow 3$ et $3 \rightarrow 4$.



Résultat de l'analyse

arc	t0	t1	t2
1 → 2			
2 → 3		✓	
3 → 4	✓	✓	
4 → 5			
4 → 6	✓		
5 → 6	✓		
6 → 7			
6 → 11			
7 → 8			
8 → 9			
9 → 10			✓
10 → 2			

Conclusions

- t0 et t2 ne sont jamais en vie sur un même arc.
- t1 et t2 ne sont jamais en vie sur un même arc.
- t0 et t1 sont en vie sur l'arc 3 → 4, ils ne peuvent être mis dans un même registre.
- Deux registres sont suffisants pour cet exemple.

Définition et utilisation des variables

- Une affectation à une variable x , **définit** cette variable.
- $def(s)$ est l'ensemble des variables que le sommet s définit.
- Une variable dans une partie droite d'une affectation (ou dans une autre instruction) **utilise** cette variable.
- $use(s)$ est l'ensemble des variables que le sommet s utilise.

			def	use
1		l = 10		
2	10	t1 = l - 1	t1	
3		t0 = 1	t0	
4		if i < t1 goto 12		t1
5		t0 = 0	t0	
6	12	if t0 = 0 goto 11		t0
7		write i		
8		t2 = i + 1	t2	
9		i = t2		t2
10		goto 10		
11	11	fend		

Variables vivantes en entrée et en sortie d'un sommet ($in(s)$ et $out(s)$)

- Une variable est vivante en entrée d'un sommet s si elle est vivante sur un arc entrant de s .
- Elle est vivante en sortie d'un sommet s si elle est vivante sur un arc sortant de s .
- On associe à tout sommet s les ensembles $in(s)$ et $out(s)$ des variables vivantes en entrée et en sortie de s .
- Objectif : calculer $in(s)$ et $out(s)$ pour tous les sommets s du graphe.

Règles pour le calcul de la vie des variables

Notations : $\boxed{s}^{in(s)}_{out(s)}$

Règle 1 $v \in use(s) \Rightarrow v \in in(s)$

$$\boxed{t_2 = t_0} \Rightarrow \boxed{t_2 = t_0}^{t_0}$$

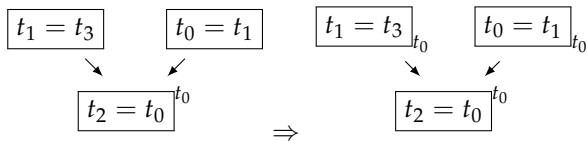
Règles pour le calcul de la vie des variables

Notations : $\boxed{s}_{out(s)}^{in(s)}$

Règle 1 $v \in use(s) \Rightarrow v \in in(s)$

$$\boxed{t_2 = t_0} \Rightarrow \boxed{t_2 = t_0}^{t_0}$$

Règle 2 $v \in in(s') \wedge s' \in succ(s) \Rightarrow v \in out(s)$



Règles pour le calcul de la vie des variables

Notations : $\boxed{s}_{out(s)}^{in(s)}$

Règle 1 $v \in use(s) \Rightarrow v \in in(s)$

$$\boxed{t_2 = t_0} \Rightarrow \boxed{t_2 = t_0}^{t_0}$$

Règle 2 $v \in in(s') \wedge s' \in succ(s) \Rightarrow v \in out(s)$

$$\begin{array}{ccc} \boxed{t_1 = t_3} & \boxed{t_0 = t_1} & \boxed{t_1 = t_3}_{t_0} \quad \boxed{t_0 = t_1}_{t_0} \\ \swarrow \quad \nwarrow & & \swarrow \quad \nwarrow \\ \boxed{t_2 = t_0}^{t_0} & \Rightarrow & \boxed{t_2 = t_0}^{t_0} \end{array}$$

Règle 3 $v \in out(s) \wedge v \notin def(s) \Rightarrow v \in in(s)$

$$\boxed{t_1 = t_3}_{t_0} \Rightarrow \boxed{t_1 = t_3}_{t_0}^{t_0} \quad \boxed{t_0 = t_1}_{t_0} \Rightarrow \boxed{t_0 = t_1}_{t_0}^{t_0}$$

Equations pour le calcul de la vie des variables

Règle 1 $v \in use(s) \Rightarrow v \in in(s)$

Règle 2 $v \in in(s') \wedge s' \in succ(s) \Rightarrow v \in out(s)$

Règle 3 $v \in out(s) \wedge v \notin def(s) \Rightarrow v \in in(s)$

Les trois règles définissent les équations suivantes :

$$in(s) = use(s) \cup (out(s) - def(s)) \quad (1)$$

$$out(s) = \bigcup_{s' \in succ(s)} in(s') \quad (2)$$

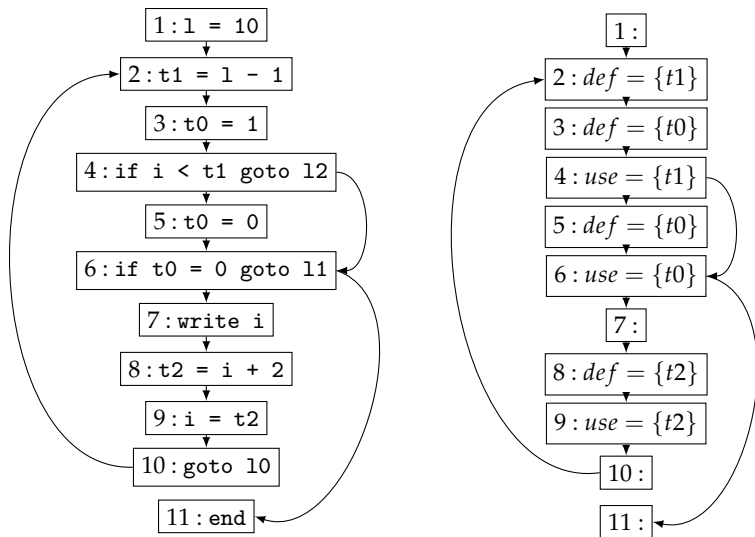
Objectif : déterminer les ensembles *in* et *out* qui vérifient ces équations.

Algorithme de calcul itératif de *in* et *out*

Algorithm 1 Calcul itératif de $in(s)$ et $out(s)$

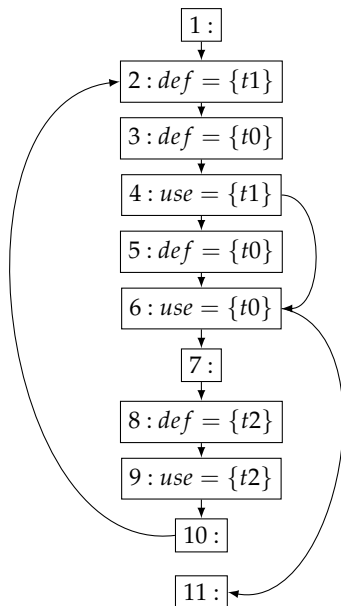
```
1: for all  $s$  do
2:    $in(s) = \{\}$ 
3:    $out(s) = \{\}$ 
4: end for
5: repeat
6:   for all  $s$  do
7:      $in'(s) = in(s)$ 
8:      $out'(s) = out(s)$ 
9:      $in(s) = use(s) \cup (out(s) - def(s))$ 
10:     $out(s) = \cup_{s' \in succ(s)} in(s')$ 
11:   end for
12: until  $in'(s) = in(s)$  et  $out'(s) = out(s), \forall s$ 
```

Calcul de *def* et *use* pour les sommets du graphe



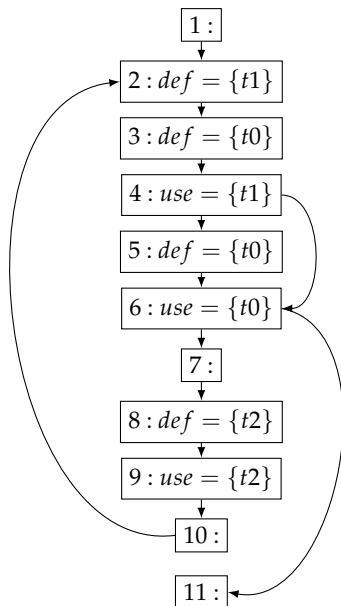
Itération 1

	0		1	
	in	out	in	out
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				



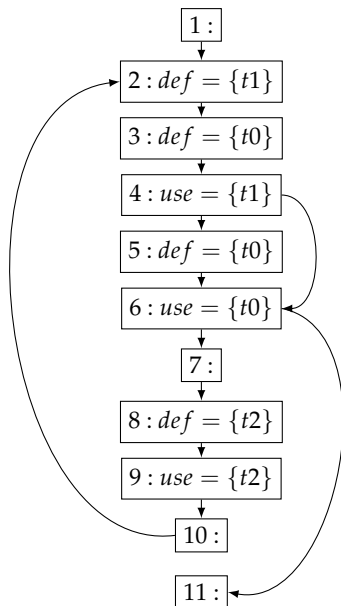
Itération 1

	0		1	
	in	out	in	out
1				
2				
3				
4			t1	
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				



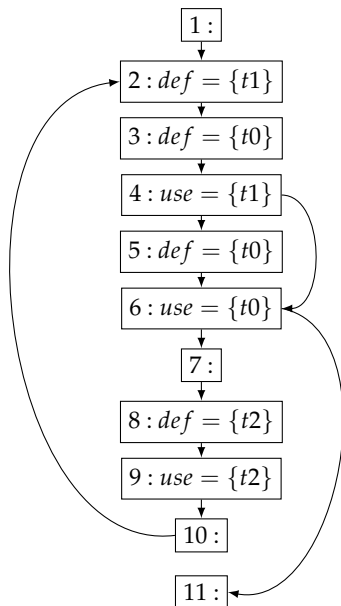
Itération 1

	0		1	
	in	out	in	out
1				
2				
3				
4			t1	
5				
6			t0	
7				
8				
9				
10				
11				



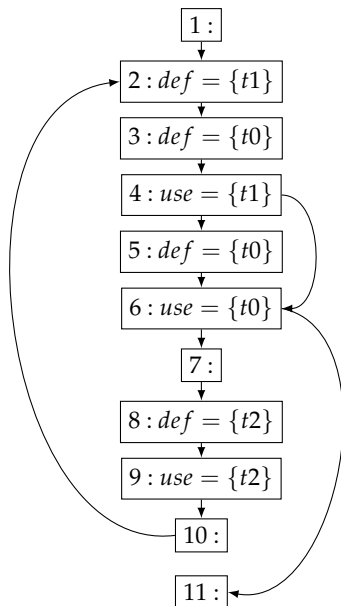
Itération 1

	0		1	
	in	out	in	out
1				
2				
3				
4			t1	
5				
6			t0	
7				
8				
9			t2	
10				
11				



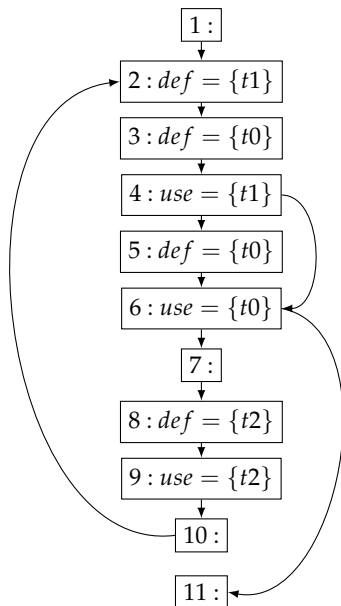
Itération 2

	1		2	
	in	out	in	out
1				
2				
3				
4	t1			
5				
6	t0			
7				
8				
9	t2			
10				
11				



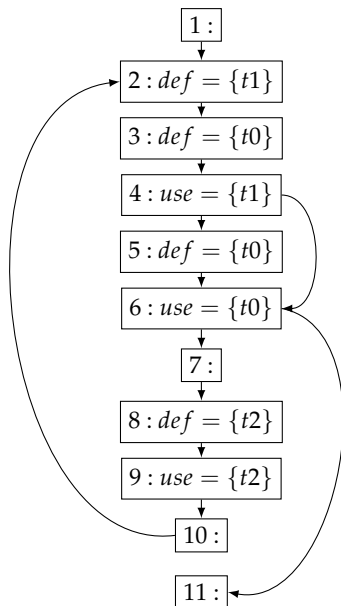
Itération 2

	1		2	
	in	out	in	out
1				
2				
3				
4	t1			t1
5				
6	t0			
7				
8				
9	t2			
10				
11				



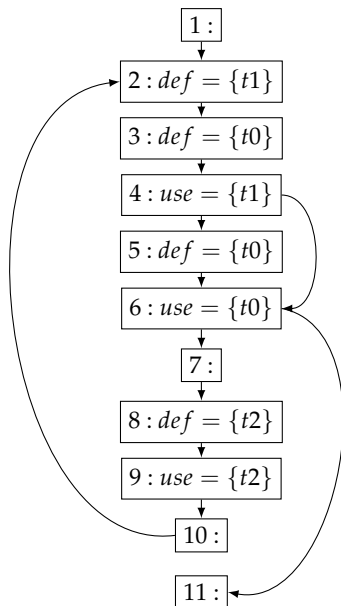
Itération 2

	1		2	
	in	out	in	out
1				
2				
3				
4				t1
5	t1		t1	
6				
7				
8				
9				
10	t2			
11				



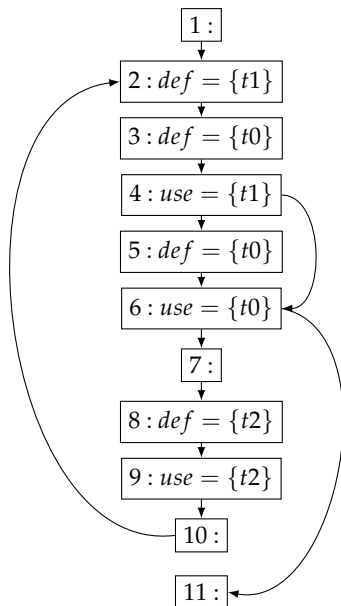
Itération 2

	1		2	
	in	out	in	out
1				
2				
3				
4				t1
5	t1		t1	t0
6				
7				
8				
9				
10	t2			
11				



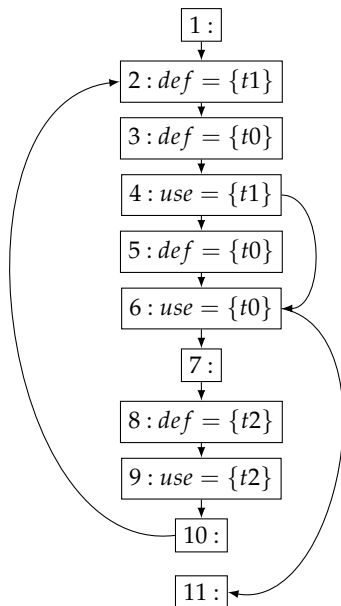
Itération 2

	1		2	
	in	out	in	out
1				
2				
3				t1
4	t1		t1	t0
5				t0
6	t0			
7				
8				
9	t2			
10				
11				



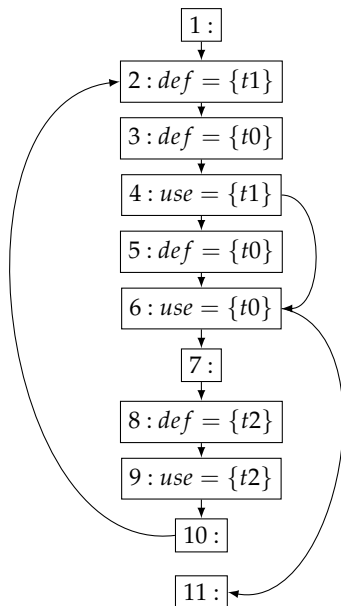
Itération 2

	1		2	
	in	out	in	out
1				
2				
3				t1
4	t1		t1	t0
5				t0
6	t0		t0	
7				
8				
9	t2			
10				
11				



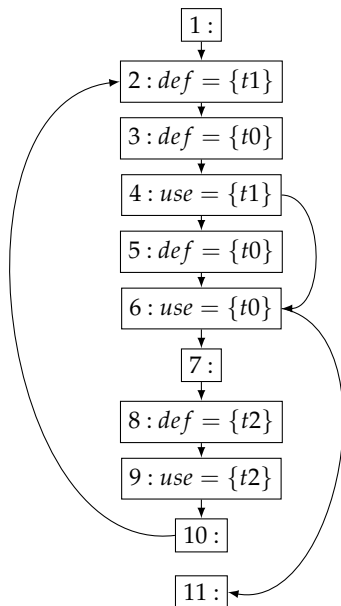
Itération 2

	1		2	
	in	out	in	out
1				
2				
3				t1
4	t1		t1	t0
5				t0
6	t0		t0	
7				
8				t2
9	t2			
10				
11				



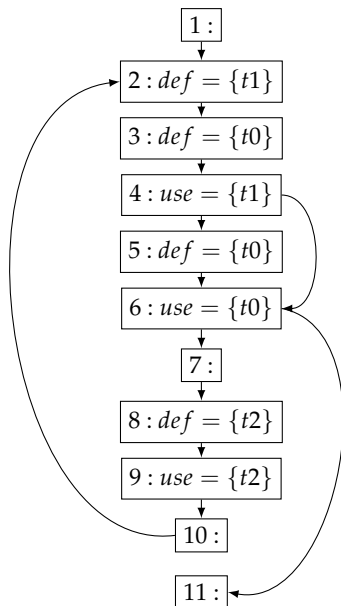
Itération 2

	1		2	
	in	out	in	out
1				
2				
3				t1
4	t1		t1	t0
5				t0
6	t0		t0	
7				
8				t2
9	t2		t2	
10				
11				



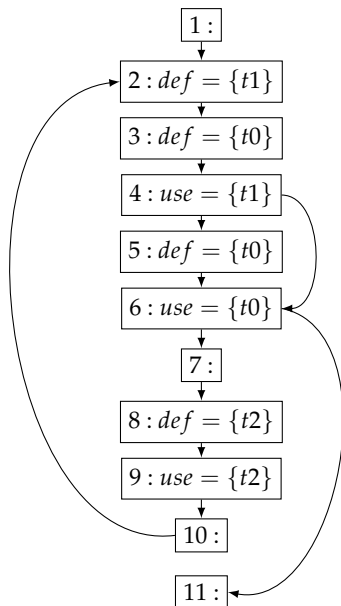
Itération 3

	2		3	
	in	out	in	out
1				
2				
3		t1		
4	t1	t0		
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



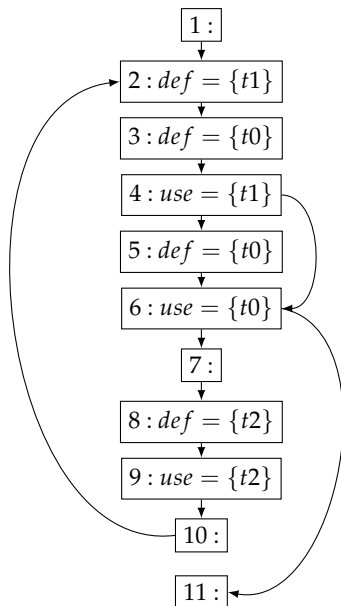
Itération 3

	2		3	
	in	out	in	out
1				
2				
3		t1	t1	
4	t1	t0		
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



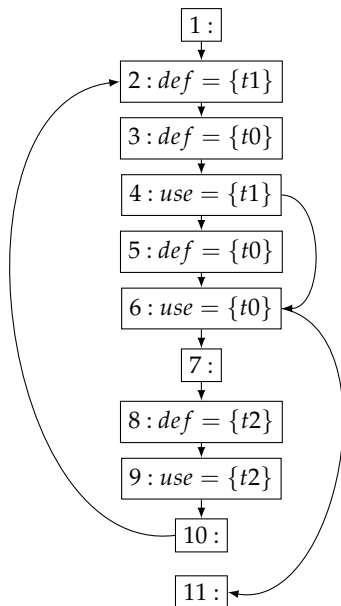
Itération 3

	2		3	
	in	out	in	out
1				
2				
3		t1	t1	t1
4	t1	t0		
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



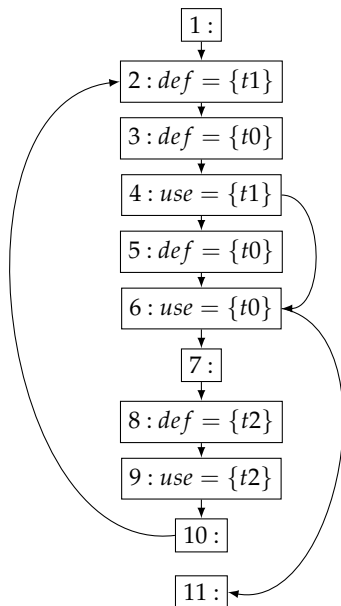
Itération 3

	2		3	
	in	out	in	out
1				
2				
3		t1	t1	t1
4	t1	t0	t1,t0	
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



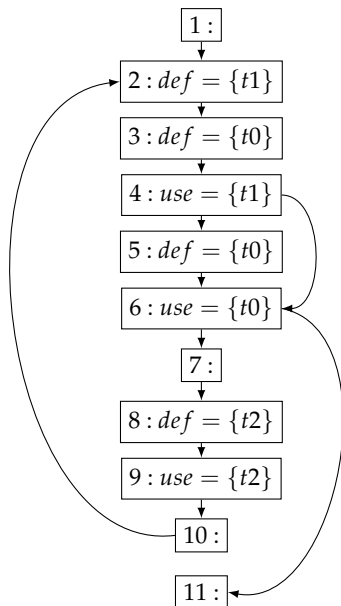
Itération 3

	2		3	
	in	out	in	out
1				
2				
3		t1	t1	t1
4	t1	t0	t1,t0	t0
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



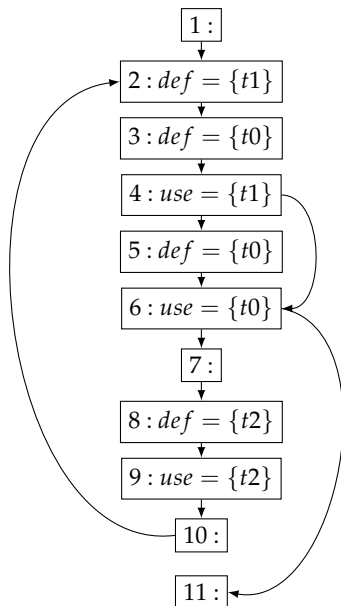
Itération 3

	2		3	
	in	out	in	out
1				
2				
3		t1	t1	t1
4	t1	t0	t1,t0	t0
5		t0		t0
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



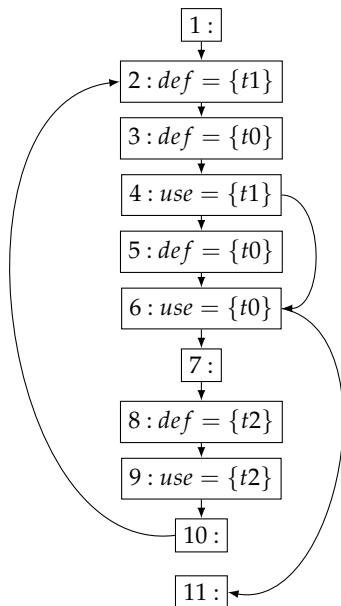
Itération 3

	2		3	
	in	out	in	out
1				
2				
3		t1	t1	t1
4	t1	t0	t1,t0	t0
5		t0		t0
6	t0		t0	
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



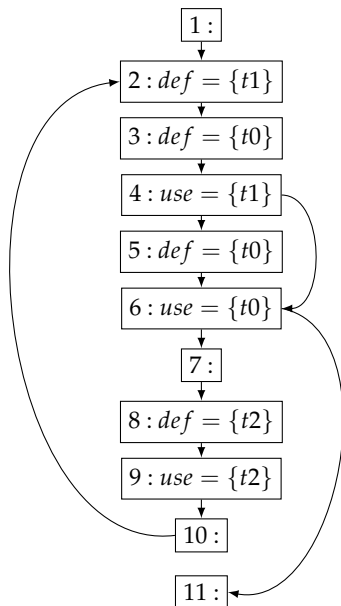
Itération 3

	2		3	
	in	out	in	out
1				
2				
3		t1	t1	t1
4	t1	t0	t1,t0	t0
5		t0		t0
6	t0		t0	
7				
8		t2		t2
9	t2			
10				
11				



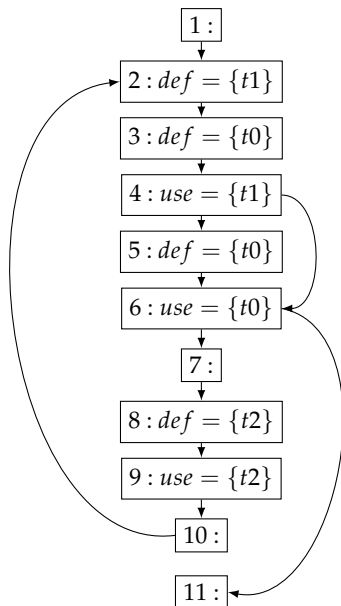
Itération 3

	2		3	
	in	out	in	out
1				
2				
3		t1	t1	t1
4	t1	t0	t1,t0	t0
5		t0		t0
6	t0		t0	
7				
8		t2		t2
9	t2		t2	
10				
11				



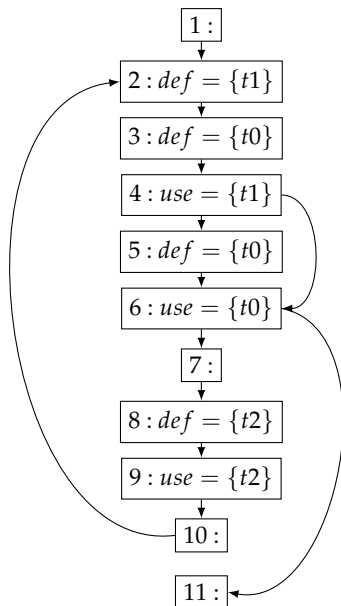
Itération 4

	3		4	
	in	out	in	out
1				
2				
3	t1	t1		
4	t1, t0	t0		
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



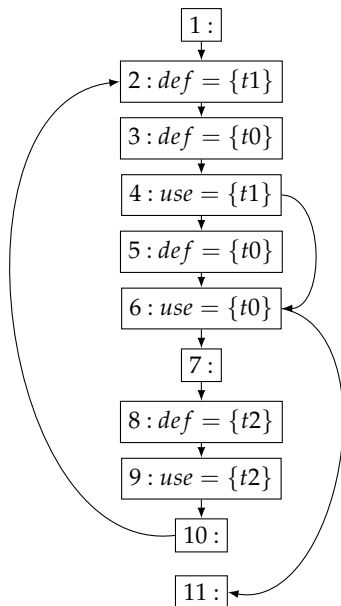
Itération 4

	3		4	
	in	out	in	out
1				
2				t1
3	t1	t1		
4	t1, t0	t0		
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



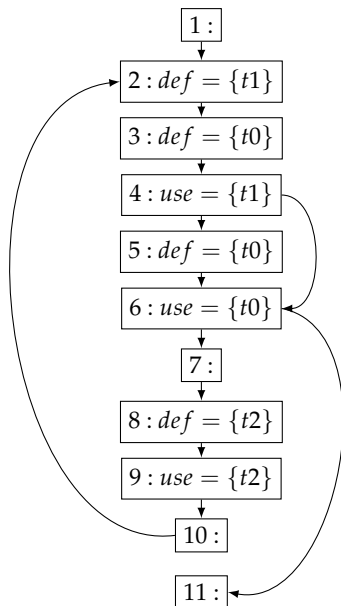
Itération 4

	3		4	
	in	out	in	out
1				
2				t1
3	t1	t1	t1	
4	t1, t0	t0		
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



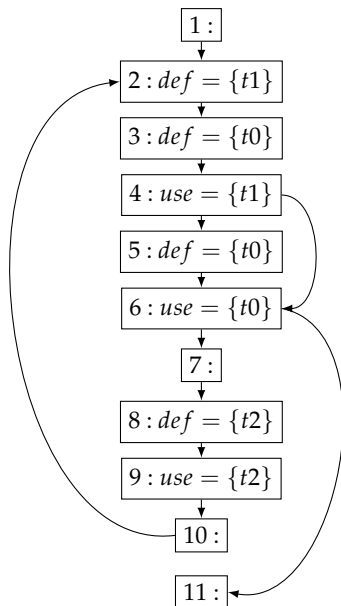
Itération 4

	3		4	
	in	out	in	out
1				
2				t1
3	t1	t1	t1	t1, t0
4	t1, t0	t0		
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



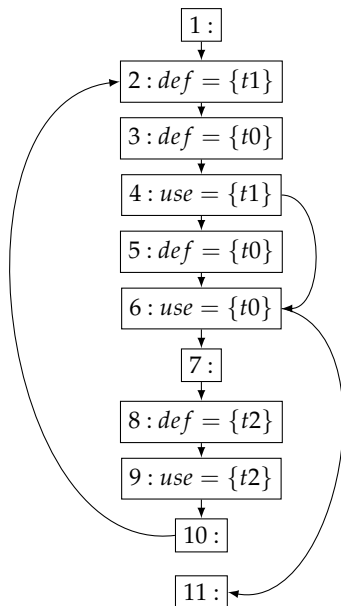
Itération 4

	3		4	
	in	out	in	out
1				
2				t1
3	t1	t1	t1	t1,t0
4	t1,t0	t0	t1,t0	
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



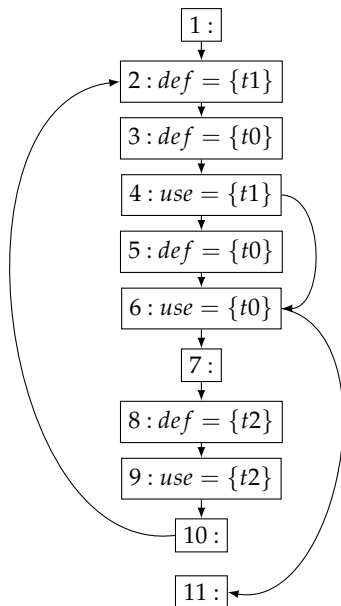
Itération 4

	3		4	
	in	out	in	out
1				
2				t1
3	t1	t1	t1	t1,t0
4	t1,t0	t0	t1,t0	t0
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



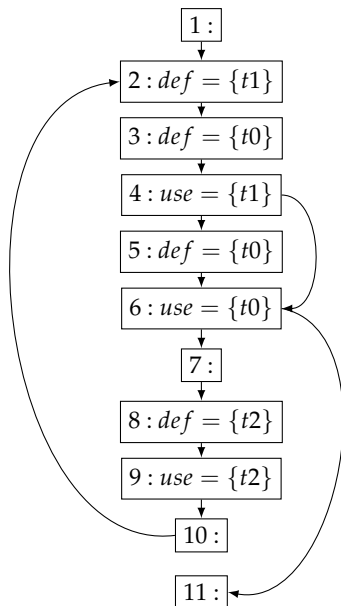
Itération 4

	3		4	
	in	out	in	out
1				
2				t1
3	t1	t1	t1	t1, t0
4	t1, t0	t0	t1, t0	t0
5		t0		t0
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



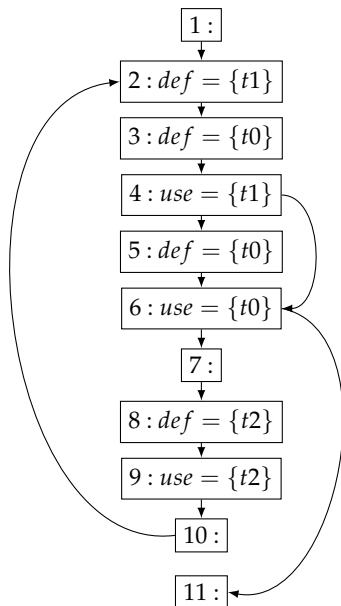
Itération 4

	3		4	
	in	out	in	out
1				
2				t1
3	t1	t1	t1	t1, t0
4	t1, t0	t0	t1, t0	t0
5		t0		t0
6	t0		t0	
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



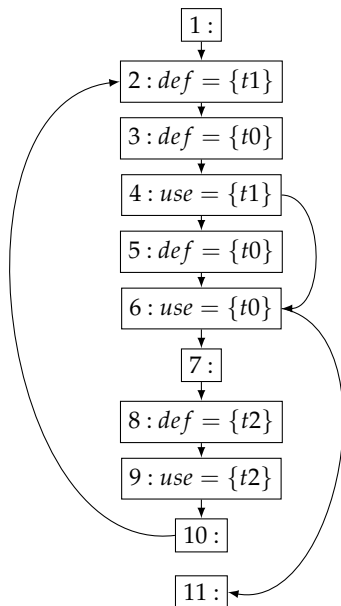
Itération 4

	3		4	
	in	out	in	out
1				
2				t1
3	t1	t1	t1	t1, t0
4	t1, t0	t0	t1, t0	t0
5		t0		t0
6	t0		t0	
7				
8		t2		t2
9	t2			
10				
11				



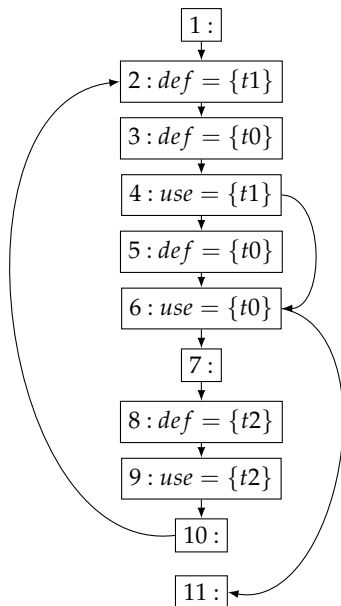
Itération 4

	3		4	
	in	out	in	out
1				
2				t1
3	t1	t1	t1	t1, t0
4	t1, t0	t0	t1, t0	t0
5		t0		t0
6	t0		t0	
7				
8		t2		t2
9	t2		t2	
10				
11				



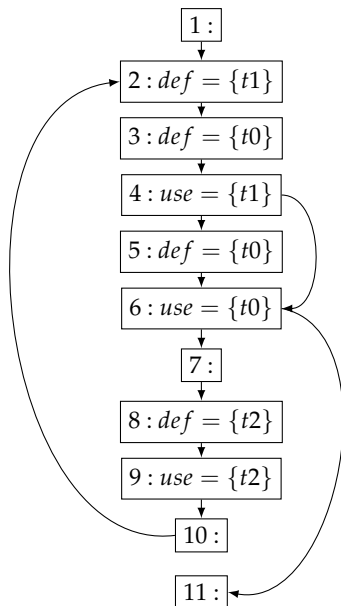
Itération 5

	4		5	
	in	out	in	out
1				
2		t1		
3	t1	t1,t0		
4	t1,t0	t0		
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



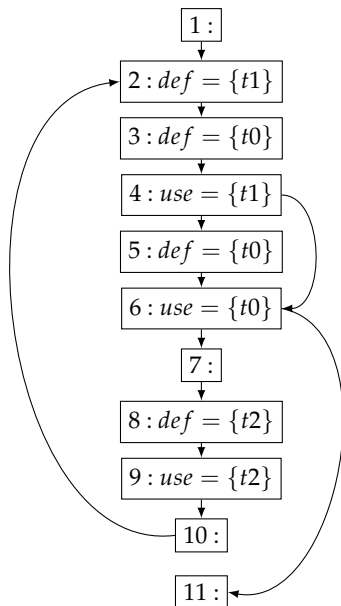
Itération 5

	4		5	
	in	out	in	out
1				
2		t1		t1
3	t1	t1,t0		
4	t1,t0	t0		
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



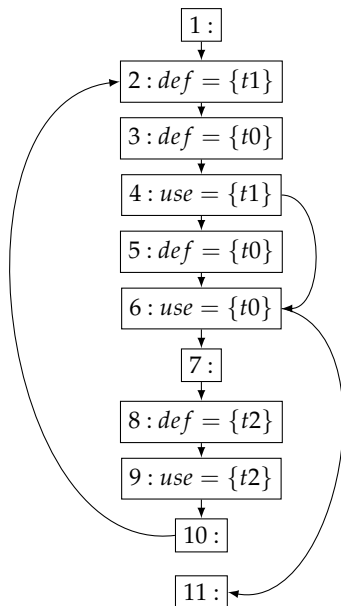
Itération 5

	4		5	
	in	out	in	out
1				
2		t1		t1
3	t1	t1,t0	t1	
4	t1,t0	t0		
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



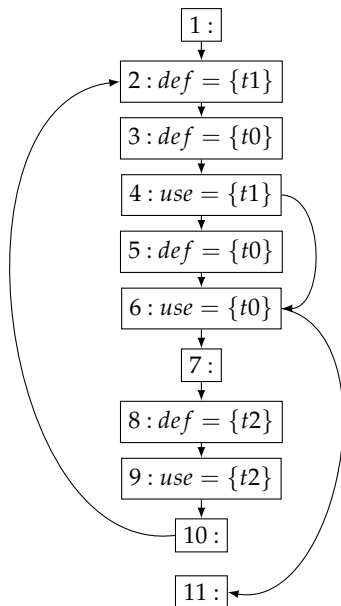
Itération 5

	4		5	
	in	out	in	out
1				
2		t1		t1
3	t1	t1,t0	t1	t1,t0
4	t1,t0	t0		
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



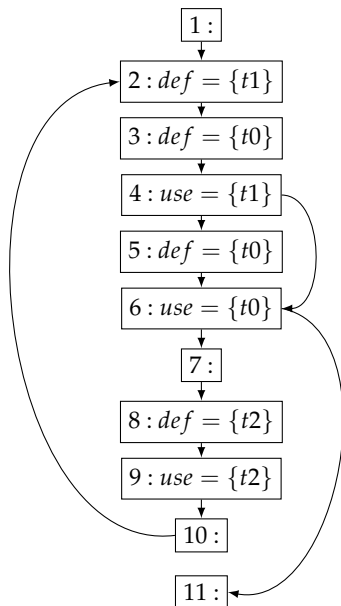
Itération 5

	4		5	
	in	out	in	out
1				
2		t1		t1
3	t1	t1,t0	t1	t1,t0
4	t1,t0	t0	t1,t0	
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



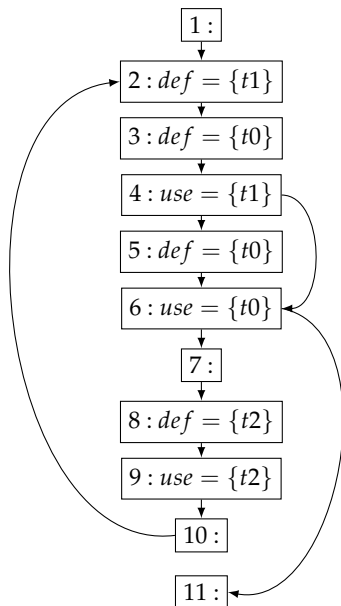
Itération 5

	4		5	
	in	out	in	out
1				
2		t1		t1
3	t1	t1,t0	t1	t1,t0
4	t1,t0	t0	t1,t0	t0
5		t0		
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



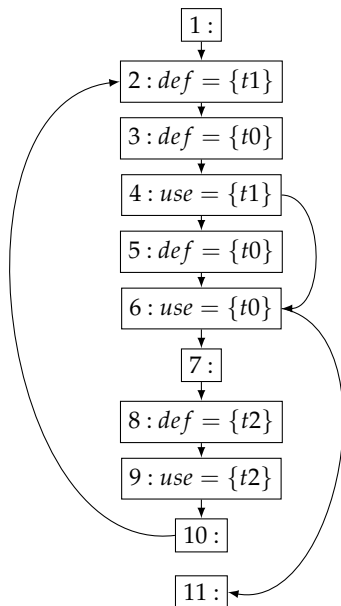
Itération 5

	4		5	
	in	out	in	out
1				
2		t1		t1
3	t1	t1,t0	t1	t1,t0
4	t1,t0	t0	t1,t0	t0
5		t0		t0
6	t0			
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



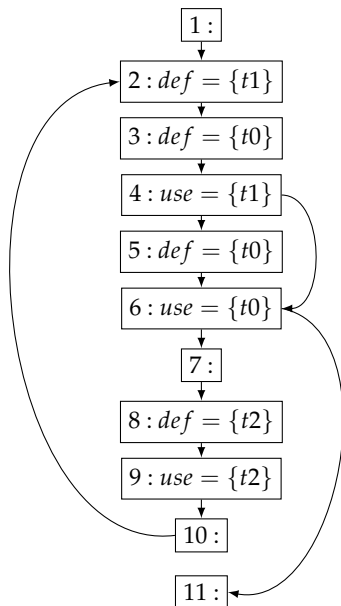
Itération 5

	4		5	
	in	out	in	out
1				
2		t1		t1
3	t1	t1,t0	t1	t1,t0
4	t1,t0	t0	t1,t0	t0
5		t0		t0
6	t0		t0	
7				
8		t2		
9	t2			
10				
11				



Itération 5

	4		5	
	in	out	in	out
1				
2		t1		t1
3	t1	t1,t0	t1	t1,t0
4	t1,t0	t0	t1,t0	t0
5		t0		t0
6	t0		t0	
7				
8		t2		t2
9	t2			
10				
11				



Itération 5

	4		5	
	in	out	in	out
1				
2		t1		t1
3	t1	t1,t0	t1	t1,t0
4	t1,t0	t0	t1,t0	t0
5		t0		t0
6	t0		t0	
7				
8		t2		t2
9	t2		t2	
10				
11				

