Sous−programmes

En C:

```
f()
{
  h();
}
...
g()
{
  h();
}
```

```
h()
{
  ...
  return;
}
```

Problème principal:

Le sous−programme doit connaître l'adresse de l'appelant

Sous–programmes (suite)

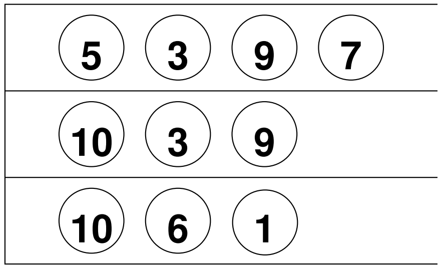
Solution utilisée par Fortran (il y a longtemps)

```
f:        ...                          hret:    0
          ldimm fhret                  h:       ...
          copy                                  jin hret
          st hret
          ...
          jal h
fhret:    ...


g:        ...
          ldimm ghret
          copy
          st hret
          ...
          jal h
ghret:    ...
```

Cette solution dépend de l’existance d’une instruction jin (jump indirect).

Sous−programmes (suite)

L'instruction jin est réalisable avec l'architecture actuelle:



Problème:

On utilise les registres pour stocker l'adresse hret

Solution:

Introduire une instruction jsr (jump to subroutine)

Sous–programmes (suite)

Utilisation de jsr:

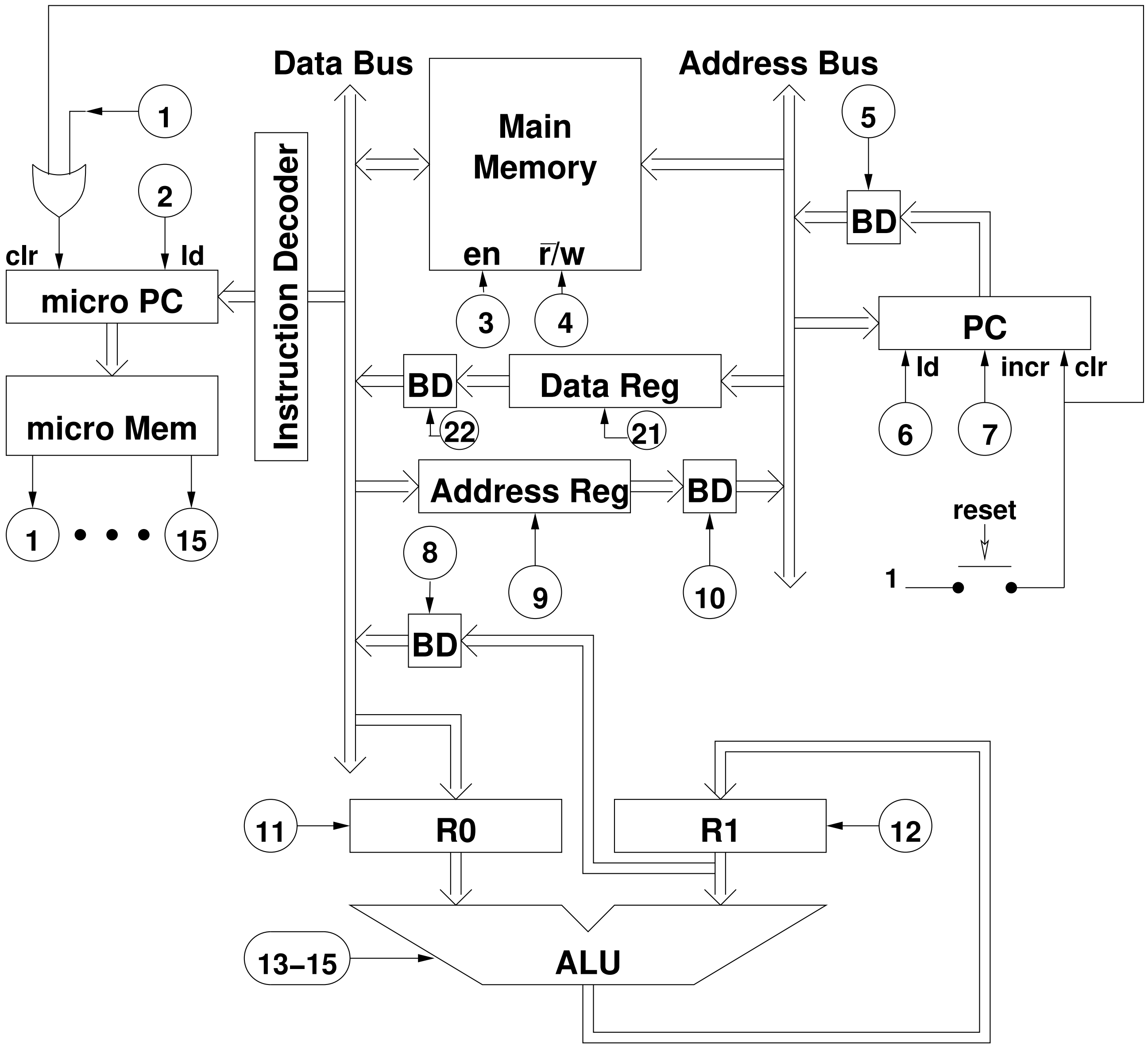
```
f:      ...                              0
        jsr h-1                 h:      ...
        ...                             jin h-1


        ...
g:      jsr h-1
        ...
```

L’instruction jsr n’est pas réalisable avec l’architecture actuelle

Description de jsr:

1. **Stocker la valeur de PC dans l’adresse donnée (ici h–1)**
2. **Charger l’adresse donnée + 1 (donc ici h) dans PC**

Modifications pour jsr



Micro programme pour jsr

5	3	9	7
5	21		
10	22		
10	22	4	
10	22	4	3
10	22	4	
10	6		
7	1		

Récursivité

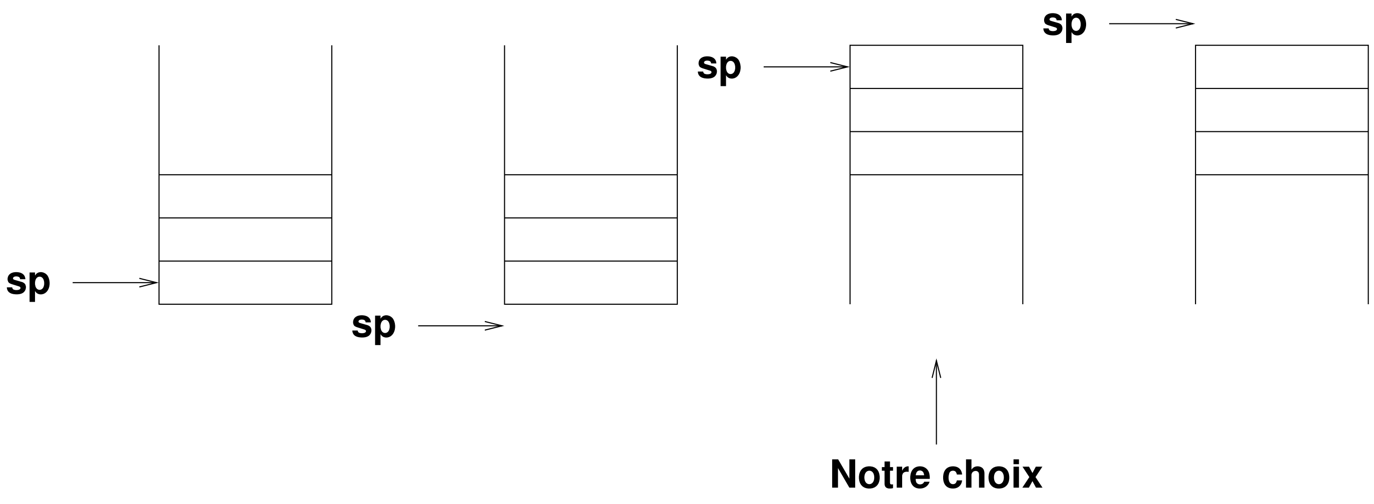
Le jsr actuel ne permet pas la récursivité

Pour le faire, il faut une pile

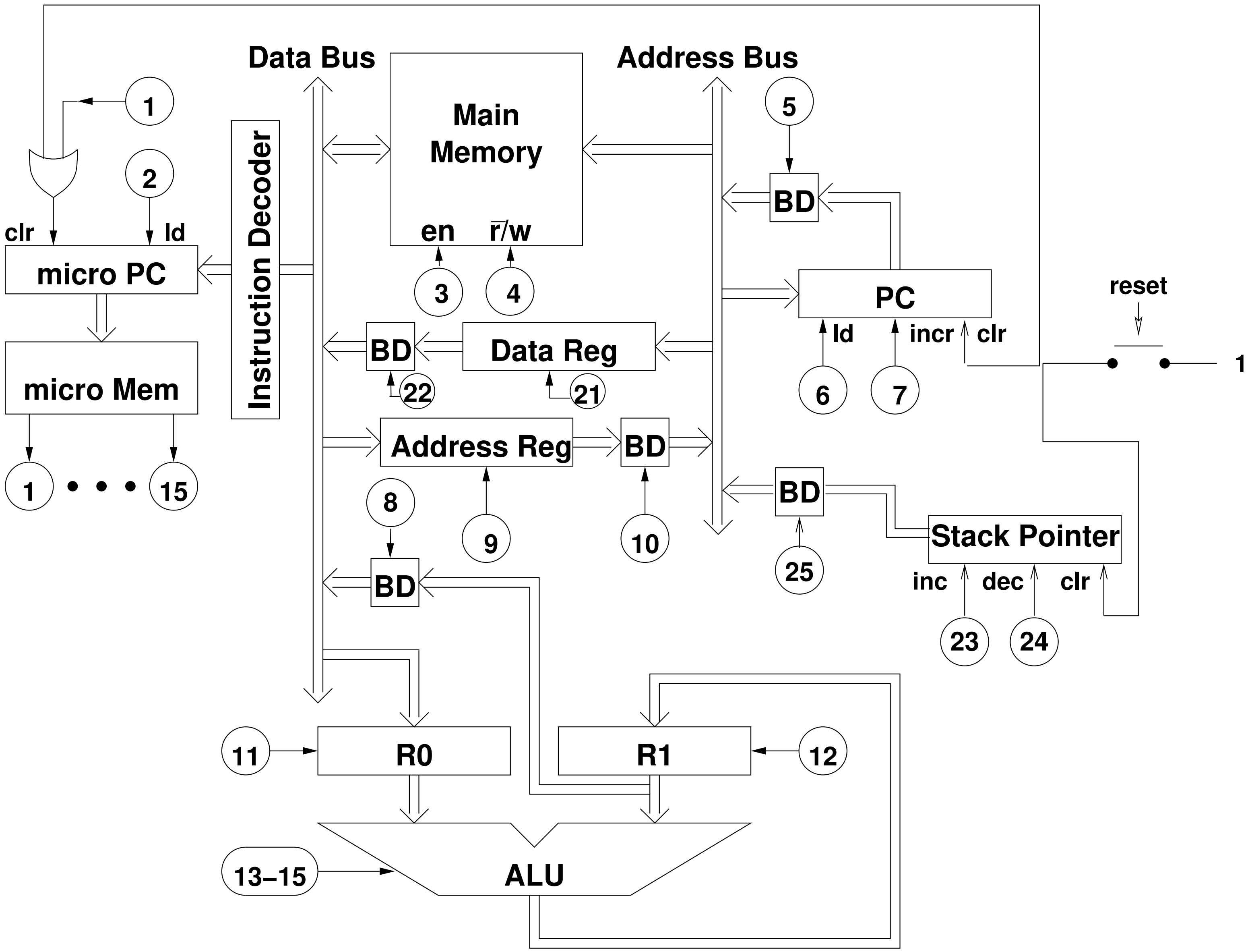
La pile est définie par un registre: pointeur de pile (sp, stack pointer)

Ce registre doit permettre l'incrémentation et la décrémentation

Plusiurs conventions de la pile sont possibles:



Modifications pour la pile



Instructions jsr et ret avec pile

Utilisation:

```
f:    ...                    h:    ...
      jsr h                        ret
      ...


g:    ...
      jsr h
      ...
```

Description jsr:

1. empiler PC
2. charcher l'adresse donnée dans PC

Description ret:

1. mettre le sommet de la pile dans PC
2. dépiler

Micro programme pour jsr et ret avec pile

jsr

5	3	9	7
5	21	24	
25	22		
25	22	4	
25	22	4	3
25	22	4	
10	6	1	

ret

25	3	9	
10	6	23	1