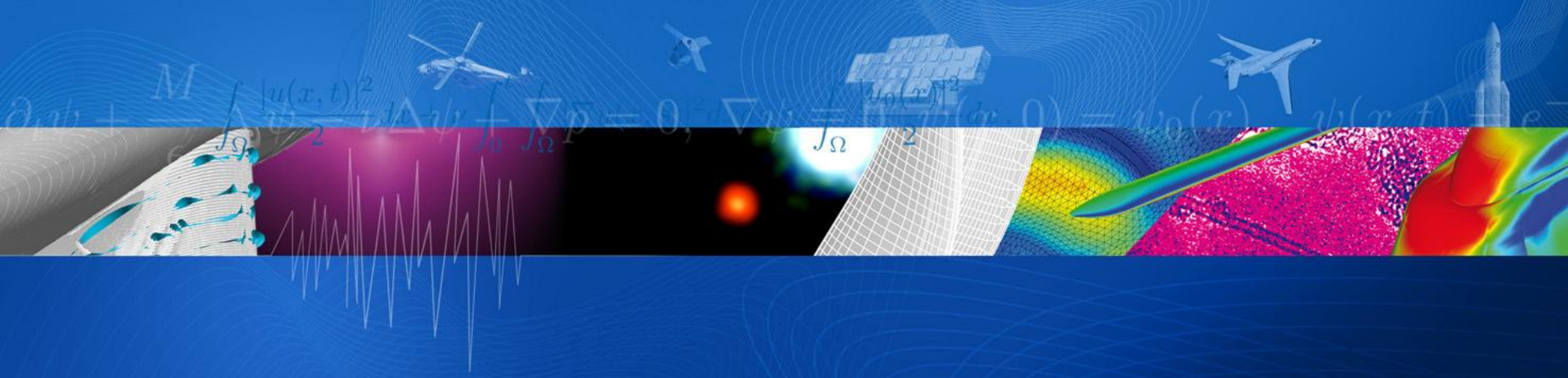


Introduction à la programmation C++

La mémoire

BOULCH Alexandre

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

Plan de la séance

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

Level	Function	File	Line
0	main	main.cpp	19

On rentre progressivement dans les fonctions.

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

Level	Function	File	Line
0	main	main.cpp	20

On rentre progressivement dans les fonctions.

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

Level	Function	File	Line
0	div	main.cpp	12
1	main	main.cpp	20

On rentre progressivement dans les fonctions.
Chaque fois que l'on rentre dans une fonction on gagne un niveau.

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

Level	Function	File	Line
0	div	main.cpp	13
1	main	main.cpp	20

On rentre progressivement dans les fonctions.
Chaque fois que l'on rentre dans une fonction on gagne un niveau.

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

Level	Function	File	Line
0	div	main.cpp	14
1	main	main.cpp	20

On rentre progressivement dans les fonctions.
Chaque fois que l'on rentre dans une fonction on gagne un niveau.

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

Level	Function	File	Line
0	verif	main.cpp	6
1	div	main.cpp	14
2	main	main.cpp	20

On rentre progressivement dans les fonctions.
Chaque fois que l'on rentre dans une fonction on gagne un niveau.

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

Level	Function	File	Line
0	verif	main.cpp	8
1	div	main.cpp	14
2	main	main.cpp	20

On rentre progressivement dans les fonctions.
Chaque fois que l'on rentre dans une fonction on gagne un niveau.

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

Level	Function	File	Line
0	verif	main.cpp	9
1	div	main.cpp	14
2	main	main.cpp	20

On rentre progressivement dans les fonctions.
Chaque fois que l'on rentre dans une fonction on gagne un niveau.

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

Level	Function	File	Line
0	div	main.cpp	15
1	main	main.cpp	20

On rentre progressivement dans les fonctions.
Chaque fois que l'on rentre dans une fonction on gagne un niveau.
Chaque fois que l'on sort d'une fonction on perd un niveau.

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

Level	Function	File	Line
0	div	main.cpp	16
1	main	main.cpp	20

On rentre progressivement dans les fonctions.
Chaque fois que l'on rentre dans une fonction on gagne un niveau.
Chaque fois que l'on sort d'une fonction on perd un niveau.

Appel d'une fonction

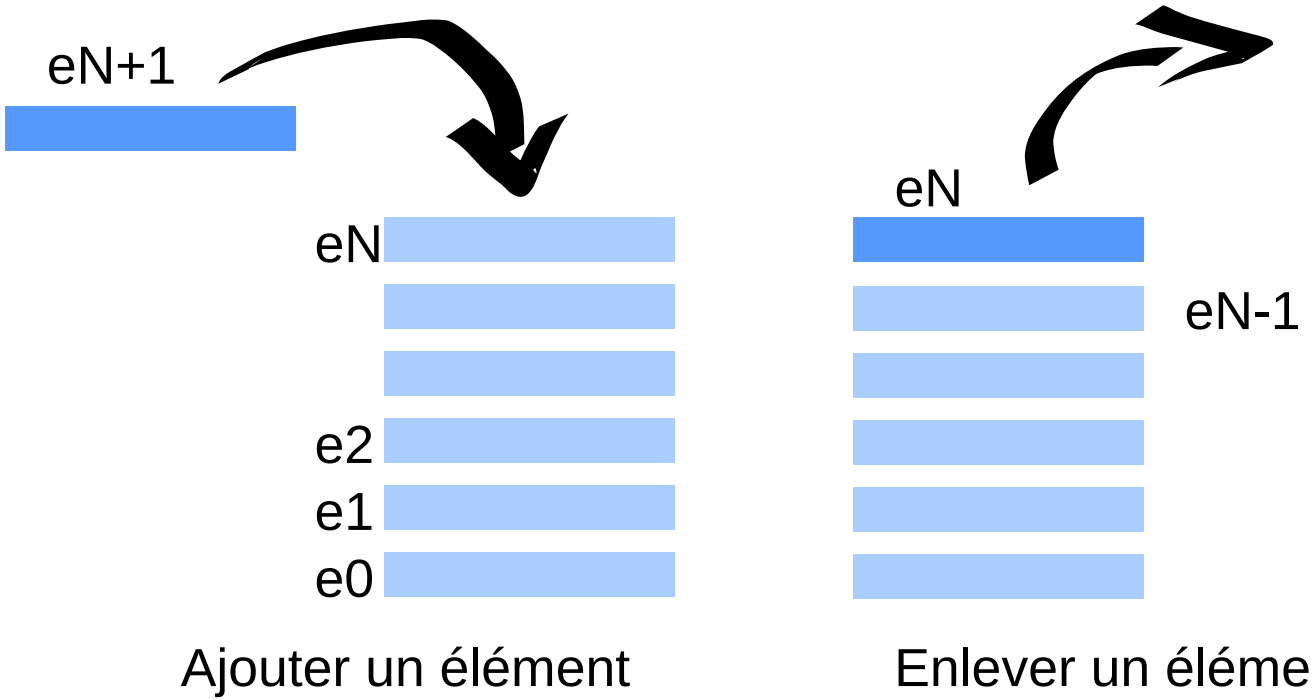
```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

Level	Function	File	Line
0	main	main.cpp	21

On rentre progressivement dans les fonctions.
Chaque fois que l'on rentre dans une fonction on gagne un niveau.
Chaque fois que l'on sort d'une fonction on perd un niveau.
C'est une structure de **pile**.

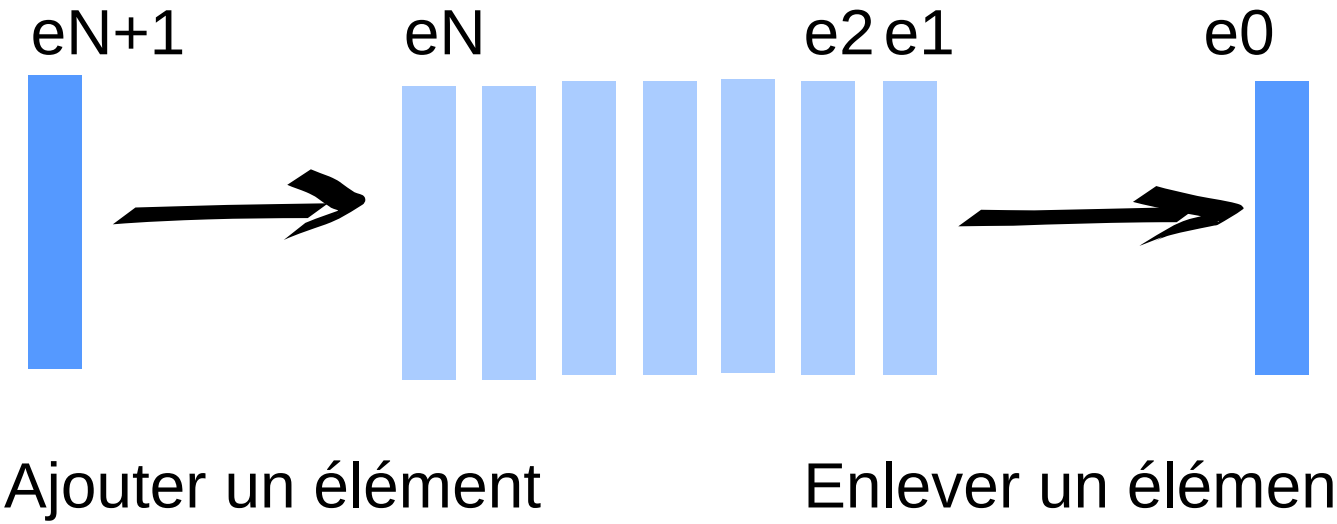
Pile

Une pile est structure de données telle que les dernières données ajoutées seront les premières à être retirées.
(Pile d'assiettes)



File

Une file est une structure de données telle que les premières données ajoutées seront les premières à être retirées.
(File d'attente)

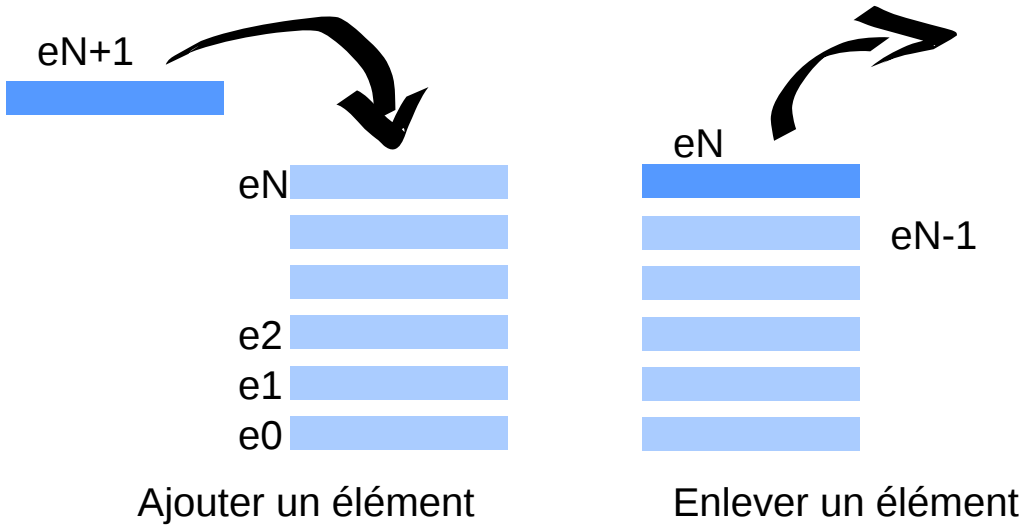


Pile des fonctions

Les appels aux fonctions sont gérés à l'aide d'une pile.

- Entrer dans une fonction : ajouter un élément à la pile
- Sortir d'une fonction : enlever un élément à la pile

La pile des fonctions permet de garder en mémoire l'ordre d'appel des fonctions.



Plan de la séance

Les variables locales

Constat

Les variables locales n'existent que dans les fonctions où elles ont été créées.

Pourquoi ?

Les variables locales sont en fait créées dans la pile.
Un élément de la pile correspond à la fonction + les variables locales (arguments compris).

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

main
Vars
a = 0
b = -7936
q = 32767
r = 4196864

Éléments avant le main

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

main
Vars
a = 20
b = 3
q = 32767
r = 4196864

Éléments avant le main

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

div
Vars
  ad = 20
  bd = 3
  quo = 0
  rd {r} = 4196864

main
Vars
  a = 20
  b = 3
  q = 32767
  r = 4196864

Éléments avant le main

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

div
Vars
  ad = 20
  bd = 3
  quo = 6
  rd {r} = 4196864

main
Vars
  a = 20
  b = 3
  q = 32767
  r = 4196864

Éléments avant le main

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

div
Vars
  ad = 20
  bd = 3
  quo = 6
  rd {r} = 2

main
Vars
  a = 20
  b = 3
  q = 32767
  r = 2

Éléments avant le main

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

verif
Vars
  ad = 20
  bd = 3
  quo = 6
  rv = 2

div
Vars
  ad = 20
  bd = 3
  quo = 6
  rd {r} = 2

main
Vars
  a = 20
  b = 3
  q = 32767
  r = 2

Éléments avant le main

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

verif
Vars
ad = 20
bd = 3
quo = 6
rv = 2
ret = true

div
Vars
ad = 20
bd = 3
quo = 6
rd {r} = 2

main
Vars
a = 20
b = 3
q = 32767
r = 2

Éléments avant le main

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

div
Vars
ad = 20
bd = 3
quo = 6
rd {r} = 2
ret = 6

main
Vars
a = 20
b = 3
q = 32767
r = 2

Éléments avant le main

Appel d'une fonction

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  bool verif(int av, int bv, int qv, int rv){
6      if(qv<0 || rv>=bv || av != bv*qv+rv)
7          return false;
8      return true;
9  }
10
11 int div(int ad, int bd, int& rd){
12     int quo = ad/bd;
13     rd = ad - bd*quo;
14     cout << verif(ad,bd,quo,rd)<< endl;
15     return quo;
16 }
17
18 int main(){
19     int a=20, b=3, r;
20     int q = div(a,b,r);
21     return 0;
22 }
```

main
Vars
a = 20
b = 3
q = div_ret = 6
r = 2

Éléments avant le main

Plan de la séance

Fonctions récurrentes

Une fonction récurrente est une fonction qui s'appelle elle même.
C'est le même principe qu'une suite récurrente :

$$u : u_{n+1} = f(u_n)$$

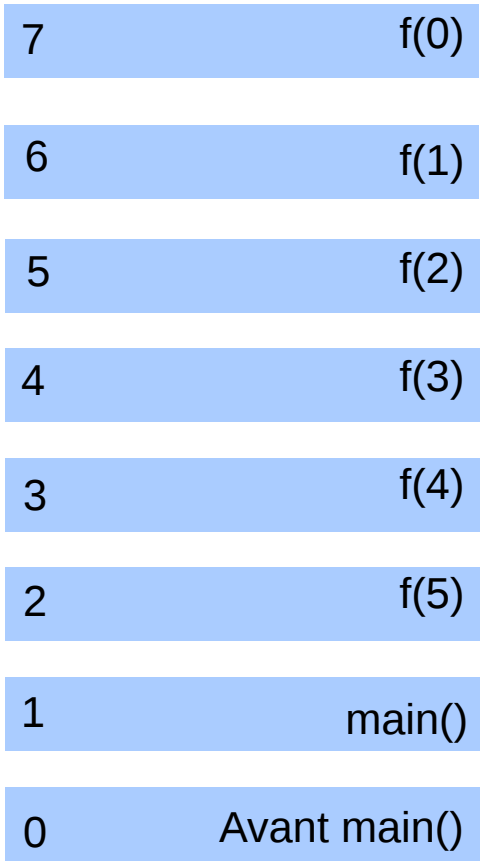
Fonctions récurrentes

Définir des fonctions récurrentes est autorisé en C++, grâce à la pile des fonctions.

C++

```
void f(int x){
    cout << x-1 << endl;
    if(x>0){
        f(x-1);
    }
}

int main(){
    f(5);
}
```



Pile des appels

Exemple

La fonction factorielle :

$$fact : n \rightarrow \begin{cases} n * fact(n-1) & \text{si } n > 0 \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

C++

```
int fact(int n){
    if(n<=0){
        return 1;
    }else{
        return n*fact(n-1);
    }
}
```

Recurrent vs séquentiel

Il est toujours possible d'écrire une fonction récurrente sous une forme séquentielle (sans récurrence).
On n'utilise pas la pile des appels, celle-ci devient en quelque sorte explicite dans le code.

C++

```
int fact(int n){
    if(n<=0){
        return 1;
    }else{
        return n*fact(n-1);
    }
}
```

C++

```
int fact(int n){
    int res = 1;
    for(int i=1; i<n+1; i++){
        res *= i;
    }
    return res;
}
```

Attention

Terminaison

Il faut s'assurer qu'il y a terminaison de la fonction récurrente dans tous les cas.

Taille de la pile

La taille de la pile est limitée, si il y a trop à la fonction la pile atteint sa taille maximale et stoppe le programme.

Vitesse

Appeler une fonction est « coûteux », une version séquentielle sera en général plus rapide ...

- ...si la fonction est « petite », si elle rapide à exécuter.
- ...et si il y a beaucoup d'appel à la fonction.

Plan de la séance

Les limites des tableaux statiques

La taille de la pile est limitée, par exemple :

```
int tab[4000000];
```

remplit la pile, et fait planter le programme.

Le tas

Il existe une autre zone mémoire : le tas. C'est la RAM de l'ordinateur qui n'est pas affecté à la pile du programme.

Créer des tableaux dans le tas

C++

```
...
int taille = 1e7; // taille pas forcement constante

int* tab = new int[taille]; // reserve la place dans le tas
...
//utilisation du tableau comme un tableau classique
...

delete[] tab; // desalloue la memoire occuppee dans le tas
```

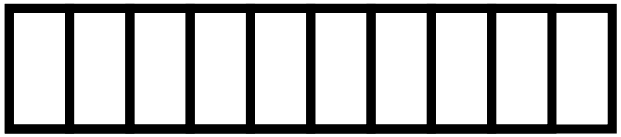
- La taille n'est pas forcément constante
- on les appelle tableaux à taille variable
- Il ne faut pas oublier le `delete [] nom`

Ce qui se passe en mémoire

Code

```
int* tab = new int[10];
```

Tas

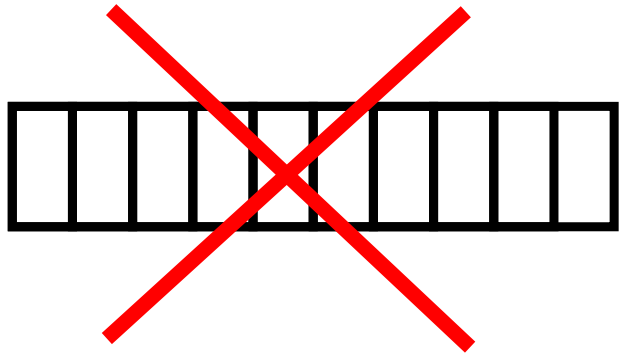


Ce qui se passe en mémoire

Code

```
int* tab = new int[10];
...
delete[] tab;
```

Tas



Tableaux de taille variable et fonctions

Tout marche comme avant :

C++

```
void remplir_tableau(int tab[], int taille){
    for(int i=0; i<taille, i++)
            tab[i] = rand() %10;
}

int somme(int tab[], int taille){
    int s=0;
    for(int i=0; i<taille; i++)
        s+=tab[i];
    return s;
}

int main(){
    int t1[20];
    remplir_tableau(t1, 20);
    cout << somme(t1,20) << endl;

    int taille2 = 1000;
    int* t2= new int[taille2];
    remplir_tableau(t2, taille2);
    cout << somme(t2,taille2) << endl;
    delete[] t2;
}
```

Erreurs fréquentes

```
// oublier d'allouer
int m =100;
double* tab;
for(int i=0; i<m; i++){
    tab[i] = 0;
}
delete[] tab;

// oublier de desallouer
int n = 10000;
for(int i=0; i<10; i++){
        bool* tab2 = new bool[n];
    // fuite de memoire
}
```

```
// desallouer deux fois
int tab3 = new int[1000];
...
delete[] tab3;
...
delete[] tab3;

// ce dire que c'est trop
// compliquer et que
// les tableaux statiques
// sont plus simples

int tab4[10000000];
//tableau trop gros
```

Plan de la séance

Release vs Debug

Release est un mode optimisé, pour rendre l'exécution plus efficace.
Il n'est plus possible de suivre l'exécution du programme pas à pas.

- Ne pas essayer de débugger en mode Release
- Rester en mode Debug le plus longtemps possible (pour être sûr que le programme fonctionne correctement) avant de passer en Release.

Les assertions

Les assertions sont des tests qui ne sont exécutées qu'en mode Debug. Elles permettent de tester des valeurs à certains endroits du programme pour faciliter le débuggage.

C++

```
#include<cassert>
...
int n;
cin >> n;
assert(n>0);
int* tab = new int[n];
...
delete[] tab;
```

Dans ce programme, en mode Debug, le assert permet de vérifier la que le `n` est strictement positif, avant de créer un tableau.
En mode Release, le test n'est pas effectué.

Plan de la séance

Pour réussir, il faut...

...se préparer

- créer un cmakelist à partir d'un existant
- modifier pour ajouter plusieurs fichiers
- plusieurs projets

...coder

- maîtriser le multi-fichiers (les includes, les `#pragma once`...)
- aller vite sur les fonctions simples
- Coder ! Coder ! CODER !
- regarder les DS machines des années précédentes et les TPs.

N'oubliez pas

- Compiler
- Commenter
- Indenter
- Pas d'accent dans les fichiers

Plan de la séance

Travail

TP

- Finir le TP Gravitation

Exercice

Calculer et afficher l'histogramme des intensites dans une image

- Manipulation des tableaux
- Doit marcher quelque soit l'image
- Visuellement compréhensible

COMMENTER INDENTER COMPILER