

UE 3.1 C++ : tableaux et pointeurs

Simon Rohou

2020/2021

V1.02

Supports de cours disponibles sur www.simon-rohou.fr/cours/c++/

Slides inspirées du cours de Olivier Marguin (Univ. Lyon)

Autres éléments de base du langage

Les pointeurs

Fuites mémoire (memory leaks)

Planning prévisionnel

1. (4cr) **Lundi 07/09** : Introduction au C++
2. (4cr) **Lundi 14/09** : Programmation orientée objet
3. (4cr) **Lundi 28/09** : Tableaux et pointeurs
4. (4cr) **Lundi 02/11** : Fichiers et conteneurs
5. (4cr) **Lundi 09/11** : Outils de développement
- 6,7,8. (12cr) **Lundi 16/11, 23/11, 30/11** : Projet Modèle Numérique de Terrain
9. (4cr) **Lundi 09/11** : Évaluation

Section 2

Autres éléments de base du langage

Les énumérations

Autres éléments de base du langage

Liste de noms représentant des valeurs entières successives :

0, 1, 2, 3...

→ Ajoute de la clarté dans les sources.

```
enum <nom> { <liste de noms> };
```

Exemple :

```
enum Direction { BABORD, TRIBORD };
```

est équivalent à la déclaration de **constantes entières**..

```
const int BABORD = 0;  
const int TRIBORD = 1;
```

..et attribue à ces constantes un type appelé Direction :

```
Direction d1;  
Direction d2 = TRIBORD;
```

Les types complexes (structures)

Autres éléments de base du langage

Une **structure** contient plusieurs autres variables, appelées champs.

```
struct [nom_structure]
{
    <type> <champ>;
    [<type> <champ>;
    [...]]
};
```

Exemple :

```
struct Position
{
    double x, y, z;
};
```

```
// ...
```

```
Position p;
p.x = 0.; p.y = 2.; p.z = -8.;
```

Les tableaux

Autres éléments de base du langage

Collection indicée de variables de même type.

Forme de la déclaration :

```
<type> <nom>[<taille>;
```

où :

- <type> : type des éléments du tableau (float, Position, ...)
- <nom> : nom du tableau
- <taille> : constante entière = nombre d'éléments

Accès : $t[i]$ est l'élément d'indice i du tableau t .

En C++, les indices vont de 0 à $(n - 1)$.

Les tableaux

Autres éléments de base du langage

Tableaux de dimension $>$ à 1 :

```
int M[2][3];
```

- matrice d'entiers à 2 lignes et 3 colonnes
- accès par `M[i][j]`

Déclarations-initialisations de tableaux :

```
int T[3] = {5, 10, 15};  
char voyelles[6] = {'a', 'e', 'i', 'o', 'u', 'y'};  
int M[2][3] = {{1, 2, 3}, {3, 4, 5}};  
// ou : int M[2][3] = {1, 2, 3, 3, 4, 5}
```


Les tableaux

Autres éléments de base du langage

Note sur l'utilisation de tableaux :

- ils peuvent être passés en paramètres de fonctions
- ils ne peuvent être renvoyés comme résultats de fonctions
- l'affectation entre tableaux est interdite

Copie de tableaux :

```
for(int i = 0 ; i < N ; i++)  
    a[i] = b[i]; // (avec a et b de même type)
```

Tableau en paramètre :

```
void display(int x[], int n)  
{  
    for(int i = 0 ; i < n ; i++)  
        cout << x[i] << endl;  
}
```

Les chaînes de caractères

Autres éléments de base du langage

Chaîne de caractères : tableau de caractères (char), avec un caractère nul '\0' marquant la fin de la chaîne.

'R'	'o'	'b'	'o'	't'	' '	'A'	'\0'
0	1	2	3	4	5	6	7

Initialisation :

```
char groupe[20]; // 19 caractères utiles
char adresse[3][40]; // 3 lignes de 39 caractères utiles
char nom[8] = {'R', 'o', 'b', 'o', 't', ' ', 'A', '\0'};
char nom[8] = "Robot A"; // possible en initialisation
```

Affectation :

```
...
nom = "Robot B"; // impossible hors initialisation
strcpy(nom, "Robot B"); // correct (string copy)
```

Les chaînes de caractères

Autres éléments de base du langage

Manipulation de chaînes de caractères :

Dans `string.h` :

- `strlen(s)` : longueur de la chaîne
- `strcpy(dest, source)` : copie source dans dest
- `strcmp(s1, s2)` : comparaison, retourne 0 si égalité

Dans `stdio.h` :

- `gets(s)` : lit une chaîne de caractères tapée au clavier, jusqu'au premier retour à la ligne (inclus)

Voir aussi `tolower(char c)`, `toupper(char c)`, etc.

Section 3

Les pointeurs

Adresses

Les pointeurs

Mémoire d'un ordinateur \approx ensemble de **cases-mémoire**.
Chaque case est repérée par une **adresse** (entier long).

	Mémoire	Adresse
		0
		1
		2
		⋮
var	12	66844 (= &var)
		⋮

L'adresse où est stockée la valeur d'une variable `var` s'obtient grâce à l'opérateur d'adresse `&` : cette adresse se note `&var`.

Pointeurs

Les pointeurs

Pointeur : variable contenant l'adresse d'une autre variable.
La déclaration d'un pointeur est de la forme suivante :

```
<type> *<nom>;
```

Par exemple :

```
int *p; // pointe sur une
        // case quelconque
int x = 0;

cout << x << endl; // affiche 0
```

	Mém.	Adr.
		⋮
p	58456	18424
		⋮
x	0	36758
		⋮
*p		58456

La variable p est alors un pointeur sur un int. La variable entière dont p contient l'adresse est dite pointée par p et se note *p.

Pointeurs

Les pointeurs

Pointeur : variable contenant l'adresse d'une autre variable.
La déclaration d'un pointeur est de la forme suivante :

```
<type> *<nom>;
```

Par exemple :

```
int *p; // pointe sur une
        // case quelconque
int x = 0;
p = &x; // pointe maintenant sur x

cout << x << endl; // affiche 0
```

	Mém.	Adr.
		⋮
p	36758	18424
		⋮
*p,x	0	36758
		⋮
		58456

La variable p est alors un pointeur sur un int. La variable entière dont p contient l'adresse est dite pointée par p et se note *p.

Pointeurs

Les pointeurs

Pointeur : variable contenant l'adresse d'une autre variable.
La déclaration d'un pointeur est de la forme suivante :

```
<type> *<nom>;
```

Par exemple :

```
int *p; // pointe sur une
        // case quelconque
int x = 0;
p = &x; // pointe maintenant sur x
*p = 5; // modifie la valeur de x
cout << x << endl; // affiche 5
```

	Mém.	Adr.
		⋮
p	36758	18424
		⋮
*p,x	5	36758
		⋮
		58456

La variable p est alors un pointeur sur un int. La variable entière dont p contient l'adresse est dite pointée par p et se note *p.

Pointeurs

Les pointeurs

Initialisation

Un pointeur s'initialise à NULL.

```
double *ptr = NULL; // aucune case mémoire n'est pointée
```

Types

Un pointeur est toujours lié au type sur lequel il pointe.

```
int *ip;  
double *dp;  
dp = ip; // illégal car ip et dp ne sont pas de même type  
*dp = *ip; // correct (conversion implicite de type)
```

Références

Les pointeurs

Une **référence** est une variable qui coïncide avec une autre variable.
La déclaration d'une référence est de la forme suivante :

```
<type> &<nom> = <nom_var>;
```

Par exemple :

```
int n = 10;  
int &r = n; // r est une référence sur n
```

n et r ont la **même adresse** : r peut être vue comme un alias de n.

```
r = 20; // modification de la valeur de n
```

Contrairement aux pointeurs, une référence ne peut être initialisée qu'une seule fois : à la déclaration. Toute autre affectation modifie en fait la variable référencée.

Passage des paramètres dans une fonction

Les pointeurs

Version naïve (passage par valeur) :

```
void swap(int a, int b) // ne fonctionne pas
{
    int aux; // variable auxiliaire servant pour l'échange
    aux = a; a = b; b = aux;
}
```

Version par références :

```
void swap(int &a, int &b) // style C++
{
    int aux;
    aux = a; a = b; b = aux;
}
```

Version par pointeurs :

```
void swap(int *a, int *b) // style C
{
    int aux;
    aux = *a; *a = *b; *b = aux;
}
```

Usages de *, &

Les pointeurs

- ▶ &, quand utilisé avec une déclaration de variable (un type)
= **référence sur...**

```
int &ra = a; // ra est une référence sur a (un alias de a)
```

- ▶ *, quand utilisé avec une déclaration de variable (un type)
= **pointeur sur...**

```
int *pa; // pa est un pointeur sur un entier
```

- ▶ &, quand utilisé avec une variable déjà déclarée
= **adresse de...**

```
&a // adresse de la variable a
```

- ▶ *, quand utilisé avec un pointeur déjà déclaré
= **valeur pointée par...**

```
cout << *pa << endl; // affiche la valeur pointée par pa
```

On dit aussi que * est un opérateur de déréférencement.

Pointeurs et tableaux

Les pointeurs

Considérons :

```
int T[5]; // T est un tableau de 5 entiers
```

T est en réalité un *pointeur constant* sur un `int` et contient l'adresse du premier élément du tableau.

Donc T et `&T[0]` sont synonymes. Ainsi :

```
int *p = T;  
p[2]; // = T[2]
```

Passage de tableau en paramètre de fonctions

Il se fait par valeur, et :

- il n'y a pas de copie du contenu du tableau (gain de temps)
- la fonction peut modifier le contenu du tableau

```
void annule(int V[], int n)  
{  
    for(int i = 0; i < n; i++) V[i] = 0;  
}
```

Variables dynamiques / variables statiques

Les pointeurs

Supposons déclaré :

```
int *p; // pointeur sur int
```

Pour l'instant, p ne pointe sur rien. Il faut réserver l'espace-mémoire nécessaire à un int par l'instruction :

```
p = new int; // new : opérateur d'allocation mémoire
```

Cette fois, p contient une véritable adresse. On peut alors utiliser la variable pointée par p (qu'on nomme **variable dynamique** par opposition aux variables ordinaires qualifiées de **statiques**) :

```
*p = 12;
```

Variables dynamiques / variables statiques

Les pointeurs

La variable pointée par `p` n'est pas automatiquement désallouée en sortie de bloc (c'est l'intérêt). Lorsqu'on n'a plus besoin de la variable `*p`, il faut libérer l'espace-mémoire qu'elle occupe par l'instruction :

```
delete p; // delete : opérateur de désallocation mémoire
```

L'expression `*p` est dès lors illégale, jusqu'à une prochaine allocation par :

```
p = new int;
```

Gestion de la mémoire – variables dynamiques

Les pointeurs

Grâce aux pointeurs, on peut manipuler des **structures de données dynamiques** dont la taille n'est déterminée qu'au moment de l'exécution.

Supposons déclaré :

```
int *T;
```

L'allocation-mémoire nécessaire pour recevoir n entiers s'écrira :

```
T = new int[n]; // T est maintenant un tableau de n entiers
```

Intérêt : n n'est pas nécessairement une constante. La taille du tableau peut donc être décidée au moment de l'exécution, en fonction des besoins.

Désallocation :

```
delete [] T; // désallocation mémoire d'un tableau dynamique
```


Comprendre les pointeurs : exemple du double tableau

Les pointeurs

Une matrice 2D (double tableau) peut s'allouer dynamiquement. Il s'agit d'un tableau 1D où chaque case pointe vers un autre tableau 1D : **c'est un tableau de tableaux.**

On l'implémente comme un pointeur de pointeurs, donc :

```
int **T; // déclaration du double pointeur,  
        // il pointera sur le tableau 2D d'entiers
```

L'allocation-mémoire se déroule en deux temps :

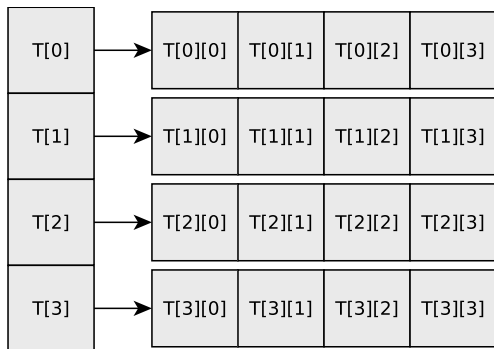
```
T = new int*[nb_row]; // allocation du premier tableau : c'est  
    un tableau de pointeurs sur des entiers (i.e. un tableau de  
    tableaux d'entiers)  
for(int i = 0; i < nb_row; ++i)  
    T[i] = new int[nb_col]; // allocation d'un tableau de nb_col  
    éléments dans chaque case du premier tableau
```

Comprendre les pointeurs : exemple du double tableau

Les pointeurs

Illustration de l'allocation dynamique :

```
int **T = new int*[nb_row];  
for(int i = 0; i < nb_row; ++i)  
    T[i] = new int[nb_col];
```



Un dernier cas : retour sur main

Les pointeurs

Il existe un autre prototype pour définir votre programme principal :

```
int main(int argc, char *argv[])
```

Les arguments argc, argv permettent de récupérer des paramètres donnés lors de l'exécution du programme par ligne de commande.

```
int main(int argc, char *argv[])
{
    cout << "Fonction main appelée avec "
          << argc << " arguments :" << endl;

    for(int i = 0 ; i < argc ; i++)
        cout << argv[i] << endl;

    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Remarque : comme argv est un double tableau (ici : un tableau de chaînes (tableaux) de caractères) on pourrait aussi écrire :

```
int main(int argc, char **argv)
```

Un dernier cas : retour sur main

Les pointeurs

Arguments :

- ▶ `argc` : nombre d'arguments de la commande (appel du programme inclus)
- ▶ `argv` : valeurs (chaînes de caractères) des `argc` arguments

Exemple d'utilisation :

```
./main argument1 42.0 test
Fonction main appelée avec 4 arguments :
./main
argument1
42.0
test
```

Section 4

Fuites mémoire (memory leaks)

Libérer tous les espaces alloués dynamiquement

Fuites mémoire (memory leaks)

Le code ci-dessous produit une fuite mémoire : de l'espace alloué dynamiquement est perdu en fin de programme.

```
1  #include <iostream>
2
3  int main()
4  {
5      int *p = new int(42);
6          // Allocation dynamique d'un entier de valeur 42,
7          // la manipulation de cet entier se fait via son adresse
8          // (c'est à dire par pointeur)
9
10     std::cout << *p << std::endl; // affiche "42"
11     // Fuite mémoire en fin de programme :
12     // l'adresse pointée par p n'est pas libérée
13
14     return EXIT_SUCCESS;
15 }
```

Libérer tous les espaces alloués dynamiquement

Fuites mémoire (memory leaks)

Le code ci-dessous produit une fuite mémoire : de l'espace alloué dynamiquement est perdu en fin de programme.

```
1  #include <iostream>
2
3  int main()
4  {
5      int *p = new int(42);
6          // Allocation dynamique d'un entier de valeur 42,
7          // la manipulation de cet entier se fait via son adresse
8          // (c'est à dire par pointeur)
9
10     std::cout << *p << std::endl; // affiche "42"
11     // Mémoire proprement libérée (pas de fuite) :
12     delete p;
13
14     return EXIT_SUCCESS;
15 }
```

Valgrind

Fuites mémoire (memory leaks)

Outil de programmation libre permettant de mettre en évidence des **fuites mémoires**.

Installation (Linux) :

```
sudo apt install valgrind
```

Utilisation :

```
> valgrind ./main
==15692==
==15692== HEAP SUMMARY:
==15692== in use at exit: 4 bytes in 1 blocks
==15692== total heap usage: 3 allocs, 2 frees, 73,732 bytes allocated
==15692==
==15692== LEAK SUMMARY:
==15692== definitely lost: 4 bytes in 1 blocks
==15692== indirectly lost: 0 bytes in 0 blocks
==15692== possibly lost: 0 bytes in 0 blocks
==15692== still reachable: 0 bytes in 0 blocks
==15692== suppressed: 0 bytes in 0 blocks
==15692== Rerun with --leak-check=full to see details of leaked memory
==15692==
==15692== For counts of detected and suppressed errors, rerun with: -v
==15692== ERROR SUMMARY: 0 errors from 0 contexts (suppressed: 0 from 0)
```