

Programmation C++

Quelques rappels

Pierre Ramet
`ramet@labri.fr`

IUT Bordeaux 1

Stage Programmation Licence, 2014

Plan de l'exposé

- 1 Généralités sur le C++
- 2 Allocation statique
- 3 Passage de paramètres
- 4 Constructeur par copie ; affectation ; surcharge
- 5 Pointeurs ; allocation dynamique
- 6 Héritage ; polymorphisme

Plan de l'exposé

- 1 Généralités sur le C++
- 2 Allocation statique
- 3 Passage de paramètres
- 4 Constructeur par copie ; affectation ; surcharge
- 5 Pointeurs ; allocation dynamique
- 6 Héritage ; polymorphisme

Généralités sur le C++ I

- Programmation orientée objet : mélange impératif/objet
- Forte compatibilité avec le C, langage assez proche du langage machine.
- Classes : structures C enrichies avec des fonctions membres
- Possibilité d'héritage, de surcharge, de polymorphisme, de composition de classes
- Mécanisme d'exceptions

Généralités sur le C++ II

- Une bibliothèque standard pour les interactions avec le système (provenant du C), plus la STL (standard template library) qui fournit quelques structures de données classiques.
- Beaucoup d'autres possibilités : patrons de classes, héritage multiple, allocation statique et dynamique, surcharge d'opérateurs, pointeurs et accès mémoire, préprocesseurs et macros



Le C++ est un langage un peu plus complexe à maîtriser que le JAVA : temps de développement plus long, maintenance plus délicate. Néanmoins les performances sont nettement meilleures.

Programme C++ I

- un programme C++ est découpé en fichiers sources et fichiers en-tête (*headers*).
 - les headers ont une extension .h, .H, .hpp : ils contiennent les déclarations des types/classes/structures et des fonctions et méthodes.
 - les sources ont une extension .cc, .C, .c++, .cpp, .cxx. Ils contiennent effectivement les instructions C++ associées aux fonctions et méthodes définies dans les headers, ainsi que les éventuelles variables globales.
 - en général, chaque fichier source a son fichier header qui lui correspond.

Programme C++ II

- Chaque source doit ensuite être **compilé** en fichiers .o (sous Linux, `g++ -c source.cc`). Ces fichiers objets contiennent une table de symboles et le code en langage machine.
- Tous ces fichiers .o sont ensuite reliés ensemble (**édition des liens**) et avec des bibliothèques extérieures dans certains cas pour former un fichier, **directement** exécutable par le processeur.
- L'un des sources contient une fonction `main` appelé en premier par le système à l'exécution.

Premier exemple I

Regardez le code de `Echecs` et exécutez-le.

Premier exemple II

```
// Fichier Piece.h
class Piece
{
private:
    int m_x;
    int m_y;
    bool m_white;

public:
    Piece(); Constructeur
    void init( int x, int y, bool white );
    void move( int x, int y );
    int x();
    int y();
    bool isWhite();
};
```

Premier exemple I

- 1 Observez qu'une classe est définie dans un fichier en-tête, afin d'être utilisable par d'autres modules.
- 2 Constructeurs

Faites un nouveau constructeur qui prend en paramètres `x,y` et la couleur. Instanciez un nouvel objet `p2` et affichez-le.

- 3 Sectionnement `public/private`

Essayez d'accéder à l'attribut `m_x` directement dans le `main` en écrivant `p1.m_x = 2;` . Peut-on toujours compiler ? Mettez-le en section `public`. Que se passe-t-il alors ?

Premier exemple II

4 Méthodes

Ecrivez une nouvelle méthode `isBlack` qui retourne l'inverse de `isWhite`.

5 Utilisation d'autres modules.

On veut intégrer une méthode d'affichage dans la classe `Piece`, appelée `affiche`. Constatez qu'il faut alors include `<iostream>` dans `Piece.cxx`. Pourquoi ? Dans le programme principal, appelez plutôt la méthode `affiche`.

Plan de l'exposé

- 1 Généralités sur le C++
- 2 Allocation statique**
- 3 Passage de paramètres
- 4 Constructeur par copie ; affectation ; surcharge
- 5 Pointeurs ; allocation dynamique
- 6 Héritage ; polymorphisme

Allocation statique I

- En C++ les variables déclarées sous la forme *type nom* ; ont une durée de vie limitée à la fonction ou méthode où elles sont déclarées. On parle d'**allocation statique**.
- Constructeurs ; destructeur ; durée de vie d'un objet

Dans chaque constructeur de `Piece`, écrivez une ligne du genre `cout << "Une piece creee" << endl;`
Ecrivez une méthode de prototype `~Piece()` dans `Piece`.
Faîtes que le corps de cette méthode affiche "Une piece detruite". Qu'en déduisez-vous sur la durée des objets `p1` et `p2` ? On dit que ces objets ont été alloués **statiquement**.

Allocation statique II

- Tableau d'objets alloué statiquement. On écrit *type nom[nb] ;*

```
Piece tbl[ 4 ];
```

Dans le programme principal, déclarez un tableau de 4 pièces. Que constatez-vous ? Combien d'instances sont créées ? Est-ce similaire à JAVA ? Quel est le constructeur appelé ?

Allocation statique III

Ecrire maintenant une classe `Joueur`. Cette classe représente un joueur d'échecs, qui joue les blancs ou les noirs. Il possède 16 pièces à des positions bien déterminées (coordonnée y : 1 ou 2 pour le blanc, 7 ou 8 pour le noir ; coordonnée x de 1 à 8 pour les deux). On ignorera pour le moment que les pièces sont différenciées. On proposera un constructeur de `Joueur` qui aura un comportement différent selon que le joueur est blanc ou noir. On testera cette classe en instanciant deux joueurs dans le programme principal. On écrira aussi une méthode `affiche` qui liste les pièces du joueur.

Allocation statique IV

- Vous constatez que l'instanciation d'un `Joueur` provoque l'instanciation de 16 pièces. Sa destruction provoque la destruction des 16 pièces.

Comment vérifier dans quel ordre sont construits et détruits les attributs de l'objet par rapport à l'objet lui-même ?

Généralités sur le C++

Allocation statique

Passage de paramètres

Constructeur par copie ; affectation ; surcharge

Pointeurs ; allocation dynamique

Héritage ; polymorphisme

Plan de l'exposé

- 1 Généralités sur le C++
- 2 Allocation statique
- 3 Passage de paramètres**
- 4 Constructeur par copie ; affectation ; surcharge
- 5 Pointeurs ; allocation dynamique
- 6 Héritage ; polymorphisme

Passage de paramètres I

- Lorsqu'on définit une fonction ou méthode avec des arguments, le passage des arguments peut se faire par valeur ou par référence.
- **Passage par valeur** : `fct(type nom)`
Le paramètre formel est alors une copie de l'argument d'appel.

Ecrire une fonction ou méthode qui teste si deux pièces sont au même endroit. Vérifiez-la en comparant deux pièces quelconques des joueurs. Y a-t-il de nouvelles instances de `Piece` créées ?

Passage de paramètres II

- **Passage par référence** : `fct(type & nom)`

Le paramètre formel référence l'argument d'appel. Aucune nouvelle instance n'est créée. Toute modification de la référence modifie l'argument.

Réécrire la fonction ou méthode précédente avec un passage par référence.

- Le **passage par pointeur** des adeptes du C est en fait un **passage par valeur** d'un type qui est un pointeur.

Plan de l'exposé

- 1 Généralités sur le C++
- 2 Allocation statique
- 3 Passage de paramètres
- 4 Constructeur par copie ; affectation ; surcharge
- 5 Pointeurs ; allocation dynamique
- 6 Héritage ; polymorphisme

Constructeur par copie

Prototype

```
Piece::Piece(const Piece & autre);
```

Le constructeur de copie est appelé lors de la déclaration suivante :

```
Piece p1(1,1,true);  
Piece p = p1;
```

et aussi lors du retour d'une `Piece` dans une fonction.

Opérateur d'affectation

- Définition implicite par le compilateur (comme le constructeur par défaut ou le constructeur de copie).
- Il est appelé pour une affectation avec un objet de la classe dans la partie gauche.

Prototype

```
Piece & operator=( const Piece & autre );
```

exemple

```
Piece p; // constructeur par default  
Piece p2( 3, 3, true); // constructeur  
p = p2; // operateur d'affectation  
Piece p3 = p2; // constructeur par copie  
Piece p3( p2 ); // equivalent  
Piece p3 = Piece( p2 ); // equivalent
```

Exercice

Ecrivez une fonction membre de `Piece` qui retourne la pièce la plus forte entre 2 pièces. [quelques rappels sur `const`]

Réponse

```
Piece Piece::plusforte(const Piece & p) const {  
    if (...) return p  
    else return *this;  
}
```

Remarque

Le constructeur par copie est automatiquement appelé pour récupérer le retour. Il est cependant possible de retourner une référence `const Piece&` pour éviter la recopie.

Exercice

Ecrivez une fonction membre de `Piece` qui retourne la pièce la plus forte entre 2 pièces. [quelques rappels sur `const`]

Réponse

```
Piece Piece::plusforte(const Piece & p) const {  
    if (...) return p  
    else return *this;  
}
```

Remarque

Le constructeur par copie est automatiquement appelé pour récupérer le retour. Il est cependant possible de retourner une référence `const Piece&` pour éviter la recopie.

Exercice

Ecrivez une fonction membre de `Piece` qui retourne la pièce la plus forte entre 2 pièces. [quelques rappels sur `const`]

Réponse

```
Piece Piece::plusforte(const Piece & p) const {  
    if (...) return p  
    else return *this;  
}
```

Remarque

Le constructeur par copie est automatiquement appelé pour récupérer le retour. Il est cependant possible de retourner une référence `const Piece&` pour éviter la recopie.

Retour de fonction par référence

On ne peut, par contre, absolument pas écrire :

```
const Piece & Piece::plusfort(const Piece & p) const {  
    Piece tmp;  
    ...  
    return tmp;  
}
```

car on retourne une référence sur du vide dans ce cas...

Solution avec des pointeurs (penser à faire `delete` !)

```
Piece* Piece::plusfort(const Piece & p) const {  
    Piece* tmp = new Piece;  
    ...  
    return tmp;  
}
```

Retour de fonction par référence

On ne peut, par contre, absolument pas écrire :

```
const Piece & Piece::plusfort(const Piece & p) const {  
    Piece tmp;  
    ...  
    return tmp;  
}
```

car on retourne une référence sur du vide dans ce cas...

Solution avec des pointeurs (penser à faire `delete` !)

```
Piece* Piece::plusfort(const Piece & p) const {  
    Piece* tmp = new Piece;  
    ...  
    return tmp;  
}
```

Surcharge

- Il est possible en C++ de surcharger le comportement des principaux opérateurs (+, -, *, /, <, >, ==, ...).
- Il est également possible de surcharger l'accessor d'un tableau.

Exemple pour une classe Tableau

```
float & Tableau::operator[](int i) const {  
    return m_tab[i-1];  
}
```

La surcharge des fonctions n'est pas réservée aux classes. Il peut être utile de surcharger des fonctions non membres.

Plan de l'exposé

- 1 Généralités sur le C++
- 2 Allocation statique
- 3 Passage de paramètres
- 4 Constructeur par copie ; affectation ; surcharge
- 5 Pointeurs ; allocation dynamique**
- 6 Héritage ; polymorphisme

Pointeurs I

- Un **pointeur** de type `T` se définit avec `T* nom_pointeur`.
Il permet de mémoriser l'adresse en mémoire d'un objet ou variable de type `T`.
- L'objet pointé par un pointeur peut être obtenu avec l'opérateur `*`
- On obtient l'adresse d'un objet ou variable avec l'opérateur `&`
- On accède à méthode/attribut d'objet pointé par la notation `->`

Pointeurs II

```
Piece tbl[ 4 ];  
Piece* ptr = 0;    // Pointeur null  
ptr = &tbl[ 0 ];  // ptr pointe vers tbl[ 0 ]  
(*ptr).affiche(); // Affiche la piece tbl[ 0 ]  
ptr->affiche();    // Idem  
ptr++;             // ptr pointe vers tbl[ 1 ]
```

Allocation dynamique I

- Il est parfois nécessaire de créer des objets dont la durée de vie dépasse la portée locale. En C++, cela se fait par **allocation dynamique**, qui demande au système de réserver une zone mémoire.
- Pour créer une instance, on utilise l'opérateur **new**. Pour la détruire, on utilisera l'opérateur **delete**.
- l'opération `new T` retourne un **pointeur de T**. C'est donc au travers de **pointeurs** que l'on manipulera les objets créés dynamiquement.

Allocation dynamique II

- lorsqu'on n'a plus besoin de cet objet, on le détruit **explicitement** avec `delete` *pointeur*.

```
Piece* allouePiece( int x, int y, bool white )  
{  
    Piece* ptr = new Piece( x, y, white );  
    return ptr;  
}  
...  
Piece* ptr2 = allouePiece( 3, 4, false );  
ptr2->affiche();  
delete ptr2;  
...
```

Allocation dynamique III

- Les tableaux peuvent être aussi alloués ou désalloués dynamiquement par les commandes **new** `T[nb]` et **delete[]**. Attention l'allocateur retourne encore un **pointeur de T** pointant vers le premier élément

Exercices sur les pointeurs I

Récupérez les fichiers `Echiquier.h` et `Echiquier.cxx`. Pourquoi son attribut `m_cases` ne mémorise que des pointeurs et pas des pieces directement ? Ecrire proprement le constructeur pour que l'échiquier soit vide au début. Complétez les méthodes spécifiées. Testez en instanciant un échiquier et en l'affichant.

Exercices sur les pointeurs I

Ecrire ensuite une méthode de `Joueur` qui place automatiquement toutes ses pièces sur un échiquier donné en paramètre. Vérifiez le placement des pièces sur l'échiquier en l'affichant.

De la même manière, écrire une méthode de `Piece` :

```
bool Piece::mouvementValide(Echiquier &e, int x, int y);
```

[pb de référence croisée]

Plan de l'exposé

- 1 Généralités sur le C++
- 2 Allocation statique
- 3 Passage de paramètres
- 4 Constructeur par copie ; affectation ; surcharge
- 5 Pointeurs ; allocation dynamique
- 6 Héritage ; polymorphisme

Héritage I

- Le langage C++ permet l'héritage entre classes, même multiple. On écrit

```
class B : accesseur A
{ // B herite de A
};
```

accesseur est soit `public`, `protected` ou `private`.

- une instance de B est alors aussi une instance de A.
- Dans le cas d'un héritage public, B a accès à tous les attributs et méthodes publics de A.
- B a accès à tous les attributs et méthodes `protected` de A.

Héritage II

- Définissez deux classes `JoueurBlanc` et `JoueurNoir` qui héritent de `Joueur` et dont les constructeurs initialisent correctement les pièces. Mettez à jour `Joueur` en éliminant le constructeur `Joueur(bool)`. Mettez du texte dans le constructeur par défaut de `Joueur` et dans les destructeurs de ces classes pour observer dans quel ordre sont appelés les constructeurs à l'instanciation et les destructeurs à la fin du programme.
Au lieu d'instancier deux joueurs, instanciez un `JoueurBlanc` et un `JoueurNoir`. Vérifiez que vous pouvez toujours les afficher avec `affiche`.

Polymorphisme ; méthodes virtuelles I

- **Polymorphisme** : traiter plusieurs formes d'une classe comme si elles n'en étaient qu'une, sans perte de leurs spécificités
- Contrairement au JAVA, en C++ il faut spécifier **explicitement** quelles vont être les méthodes polymorphes avec **virtual**.

```
class A {  
    void f() {  
        cout << "A::f" << endl;  
    }  
}
```

```
class A {  
    virtual void f() {  
        cout << "A::f" << endl;  
    }  
}
```


Polymorphisme ; méthodes virtuelles II

```
class B : public A {  
    void f() {  
        cout << "B::f" << endl;  
    }  
}  
...  
B b; // Cree une instance de B  
A* pa = &b; // Cree un pointeur de type A vers b  
b.f(); // B::f  
pa->f(); // A::f ou (virtual) B::f
```

Polymorphisme ; méthodes virtuelles III

- **Attention** : si une classe contient une méthode virtuelle, il est **très conseillé** de mettre son destructeur virtuel aussi.

```
// A.h
class A {
    virtual ~A();
    virtual void f();
}
```

```
// A.cxx
A::~~A() { ... }
A::f() { ... }
```

- Un constructeur ne peut être virtuel.

Exercice

On va pouvoir modéliser maintenant chaque pièce du jeu d'échecs avec son comportement propre. On écrira donc une classe par type de pièce : Roi, Reine, Fou, Cavalier, Tour, Pion. Ces classes spécialiseront une méthode virtuelle de pièce de prototype :

```
bool mouvementValide( Echiquier & e, int x, int y );
```

Attention, certaines pièces ont des mouvements autorisés différents selon noir ou blanc. Pourquoi passer un echiquier en paramètre ? Vous pourrez aussi spécialiser l'affichage des pièces ainsi : Blanc : RQFCTP, Noir : rqfctp. Dans les joueurs, instanciez correctement les nouvelles pièces.

Polymorphisme ; Transtypage I

- Un pointeur de type T peut pointer vers tout objet de type T' où T' est une spécialisation de T . Il est parfois utile de retrouver le type réel d'un objet pointé, par exemple pour appeler des méthodes spécialisées qui ne sont pas définies dans le type de base.
- On voudrait, à partir d'un pointeur sur une `Piece` pointant vers un "roi" par exemple, obtenir un pointeur sur un `Roi` sur cette même instance. On parle de *transtypage*.

Polymorphisme ; Transtypage II

```
Roi rb(true);  
Piece* ptr = &rb;  
Roi* rptr = ptr; // interdit
```

En effet, le compilateur ne peut pas autoriser une telle instruction car rien ne dit que l'élément pointé par `ptr` a été effectivement instancié comme un objet `Roi`. Lorsque l'on souhaite transtyper un pointeur, il faut donc l'indiquer explicitement. Cela se fait avec l'opérateur `dynamic_cast`.

Polymorphisme ; Transtypage III

```
Roi rb(true);  
Piece* ptr = &rb;  
Roi* rptr = dynamic_cast<Roi*>( ptr ); // ok  
if ( rptr == 0 )  
    cerr << "ptr ne pointait pas sur une instance de Roi." << endl;  
else ...
```

L'opérateur `dynamic_cast` analyse le type réel de l'objet pointé et, si le transtypage est valide, retourne un pointeur du bon type, sinon il retourne le pointeur 0.

Polymorphisme ; Transtypage IV

Dans notre exemple, la méthode `roque` a peu de sens dans la classe `Piece`. On peut n'appeler cette méthode que sur les objets transtypés en `Roi`.

```
for ( ... )  
    dynamic_cast<Roi*>( m_cases[ i ] )->roque();
```

Méthodes virtuelles pures ; classes abstraites I

- Parfois, on veut spécifier un comportement sans mettre de comportement par défaut (comme une interface en JAVA). On précise alors que la méthode est **virtuelle pure** et on écrit **= 0** à la fin de la déclaration du prototype.

```
// Piece.h
class Piece { ...
    virtual bool mouvementValide( Echiquier & e, int x, int y ) = 0;
};
```

- Les classes qui dérivent de Piece **doivent** alors réaliser concrètement ces méthodes, sinon elles ne sont pas instanciables.

Méthodes virtuelles pures ; classes abstraites II

- Une classe non instanciable est une **classe abstraite**.
- NB: en C++ on simule les interfaces JAVA en écrivant des classes ne comportant que des méthodes virtuelles pures et un destructeur virtuel.

Vérifiez que `Piece` n'est plus instanciable avec cette méthode virtuelle pure.

Transformez la classe `Joueur` en classe abstraite.

Héritage Multiple I

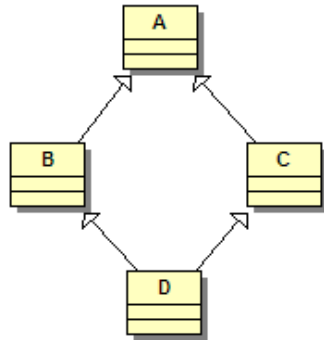
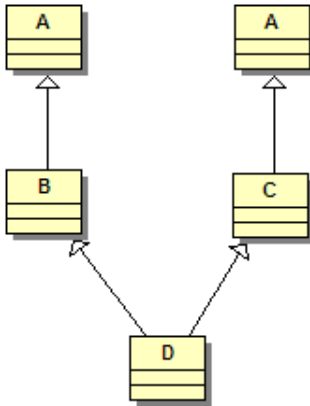
- En C++, il est possible d'hériter de plusieurs classes (mais pas plusieurs fois de la même classe).

```
// Piece.h
class Reine : public Fou, public Tour { ... };

bool Reine::mouvementValide( Echiquier & e, int x, int y ) {
    return Fou::mouvementValide( e, x, y ) ||
           Tour::mouvementValide( e, x, y );
}
```

- Cependant, pour cet exemple, on souhaite réaliser un héritage en diamant. Mais en l'écrivant de cette manière la classe `Piece` (et ses données membres) sera dupliquée !

Héritage Multiple II



Héritage Multiple III

- Pour obtenir un héritage en diamant, il faut utiliser l'héritage virtuel.

```
// Piece.h
class Fou    : virtual public Piece { ... };
class Tour   : virtual public Piece { ... };
class Reine  : public Fou, public Tour { ... };
```

- Un problème subsiste, comment la partie `Piece` va-t-elle être construite ? Il a été décidé de ne choisir si la construction par `Fou` ni par `Tour`, mais d'imposer au constructeur de `Reine` de spécifier directement comment la partie `Piece` sera construite.

Héritage Multiple IV

Tout appel au constructeur de `Piece` depuis `Fou` ou `Tour` sera ignoré lors de la construction d'une `Reine`.

```
Reine::Reine(bool white) : Piece(4, (white?1:8), white),  
                          Fou(white), Tour(white) {};
```

Transformez la classe `Reine` avec un héritage multiple.
Modifiez la méthode `mouvementValide` pour prendre en compte les déplacements des pièces `Fou` et `Tour`.

Exercice

Terminez le jeu d'échecs. On notera qu'il faudra gérer la zone où un roi est mis en échec. On pourra sans doute étoffer la classe `Echiquier` pour mémoriser les zones où les rois ne peuvent aller. On ignorera le roque et la prise en passant. Une extension possible du jeu est l'initialisation d'un jeu à partir d'un fichier.