

Programmation orientée objet & autres concepts illustrés en Java et C++11

Eric Lecolinet - Télécom ParisTech

<http://www.telecom-paristech.fr/~elc>

Janvier 2018

Dans ce cours

Organisation du cours

- présentation des langages informatique par **Patrick Bellot**
- ce qui est **similaire à Java** (révision...)
- ce qui est **différent de Java**
- interfaces graphiques **Java Swing**

Deux langages support

- **C++** : pour illustrer divers concepts, mécanismes et difficultés présents dans les langages courants
- **Java** : pour comparer et pour illustrer la programmation événementielle

Liens

- <http://www.telecom-paristech.fr/~elc/>
- <http://www.telecom-paristech.fr/~elc/inf224/>

Brève historique (très parcellaire)

1972 : Langage C

1983 : Objective C

Extension objet du **C** popularisée par **NeXt** puis **Apple**
Syntaxe inhabituelle inspirée de **Smalltalk**

1985 : C++

Extension objet du **C** par *Bjarne Stroustrup* aux **Bell Labs**

1991 : Python

Vise la simplicité/rapidité d'écriture, créé par *G. van Rossum*
Interprété, typage dynamique

1995 : Java

Simplification du **C++** de **Sun Microsystems** puis **Oracle**
Egalement inspiré de **Smalltalk**, **ADA** ...

2001: C#

A l'origine, le « Java de **Microsoft** »
Egalement inspiré de **Delphi**, **C++**, etc.

2011: C++11

Révision majeure du C++, suivie de C++14 et C++17

2014: Swift

Le successeur d'**Objective C**, par **Apple**

C++ versus C et Java

C++ = extension du langage C

- un compilateur C++ peut **compiler du C** (avec qq restrictions)
- un même programme peut **combiner C, C++ et Objective C** (Apple) ou **C#** (Windows)

C++, Java, C# dérivent de la syntaxe du C

- avec l'**orienté objet** et bien d'autres fonctionnalités

Différences notables entre C++ et Java

- gestion mémoire, héritage multiple, redéfinition des opérateurs, pointeurs de fonctions et de méthodes, passage des arguments, templates ...
- programmes :
 - **Java** : à la fois **compilés (byte code)** puis **interprétés** ou compilés à la volée
 - **C/C++** : **compilés en code natif** (et généralement plus rapides)

Références et liens

Livres, tutoriaux, manuels

- **Le langage C++**, Bjarne Stroustrup (auteur du C++), Pearson
- **manuel de référence** : <http://cppreference.com> ou www.cplusplus.com/reference
- **faqs, aide** : <https://isocpp.org/faq>, <https://stackoverflow.com>, etc.
- **Cours C++ de Christian Casteyde** : <http://casteyde.christian.free.fr/>

Liens

- **Travaux Pratiques** de ce cours : www.enst.fr/~elc/cpp/TP.html
- **Petit tutoriel de Java à C++** (pas maintenu) : <http://www.enst.fr/~elc/C++/>
- **Toolkit graphique Qt** : www.enst.fr/~elc/qt
- **Extensions Boost** : www.boost.org
- **Cours C++ de Christian Casteyde** : <http://casteyde.christian.free.fr/>
- **Site de B. Stroustrup** : <http://www.stroustrup.com>

Premier chapitre :

Des objets et des classes

Programme C++

Constitué

- de **classes** comme en **Java**
- et, éventuellement, de **fonctions** et **variables** « non-membre » (= hors classes) comme en **C**

Bonne pratique : une classe principale par fichier

- mais pas de contrainte syntaxique comme en **Java**

Car.cpp

```
#include "Car.h"

void Car::start() {
    ....
}
```

Truck.cpp

```
#include "Truck.h"

void Truck::start(){
    ....
}
```

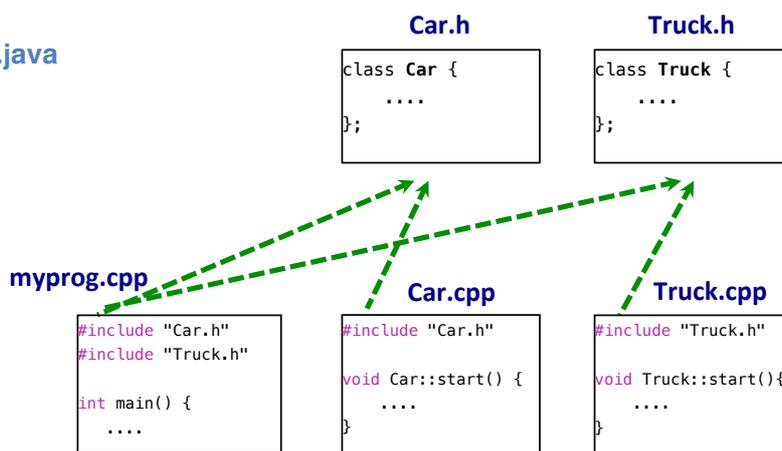
Déclarations et définitions

C/C++ : deux types de fichiers

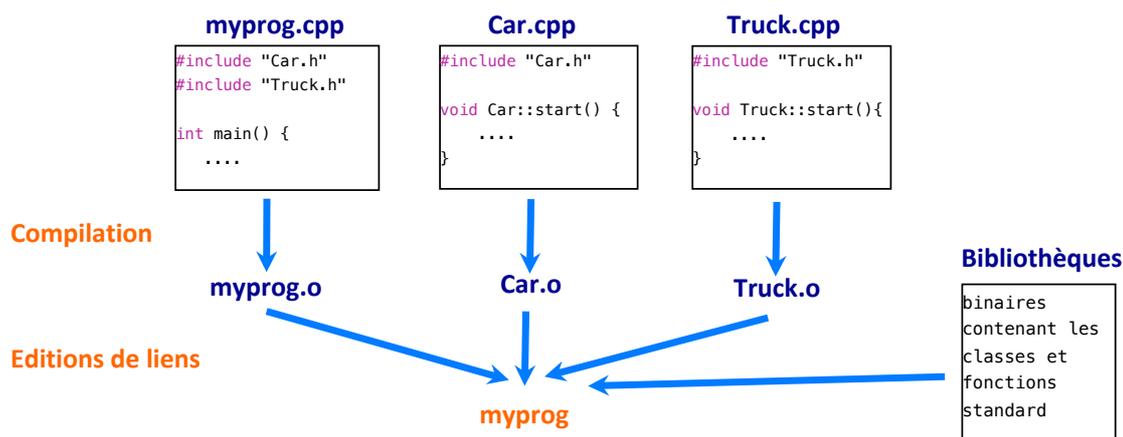
- **déclarations** dans fichiers **header** (extension **.h** ou **.hpp** ou pas d'extension)
- **définitions** dans fichiers d'**implémentation** (**.cpp**)
- en général à chaque **.h** correspond un **.cpp**

En Java

- tout dans les **.java**



Compilation et édition de liens



Problèmes éventuels

- **incompatibilités syntaxiques** :
 - la compilation échoue : **compilateur** pas à jour
- **incompatibilités binaires** :
 - l'édition de liens échoue : **bibliothèques** pas à jour

Options g++

- mode **C++11** : **-std=c++11**
- warnings : **-Wall -Wextra ...**
- débogueur : **-g**
- optimisation : **-O1 -O2 -O3 -Os -s**
- et bien d'autres ...

Déclaration de classe

Dans le header `Circle.h` :

```
class Circle {
private:
    int x = 0, y = 0;
    unsigned int radius = 0;

public:
    Circle(int x, int y, unsigned int radius);

    void setRadius(unsigned int);
    unsigned int getRadius() const;
    unsigned int getArea() const;
    ....
}; // ne pas oublier ; à la fin !
```

← variables d'instance

← constructeur

← méthodes d'instance

Remarques

- même sémantique que **Java** (à part `const`)
- il faut un `;` après la `}`

Variables d'instance

```
class Circle {
private:
    int x = 0, y = 0;
    unsigned int radius = 0;

public:
    Circle(int x, int y, unsigned int radius);
    void setRadius(unsigned int);
    unsigned int getRadius() const;
    unsigned int getArea() const;
    ....
};
```

← variables d'instance

Variables d'instance

- chaque objet possède **sa propre copie** de la variable
- normalement `private` ou `protected` (à suivre)
- **doivent être initialisées** si c'est des **types de base** ou des **pointeurs**
 - NB : avant C++11 : le faire dans les constructeurs

Méthodes d'instance

```
class Circle {
private:
    int x = 0, y = 0;
    unsigned int radius = 0;

public:
    Circle(int x, int y, unsigned int radius);
    void setRadius(unsigned int)
    unsigned int getRadius() const;
    unsigned int getArea() const;
    ....
};
```

← méthodes d'instance

Méthodes d'instance : 1^{er} concept fondamental de l'OO

- liaison **automatique** entre fonctions et données :
 - ont **accès** aux variables d'**instance** (et de **classe**) d'un objet

Remarques

- généralement **public**
- méthodes **const** : ne modifient **pas** les variables d'instance (n'existent pas en **Java**)

Constructeurs

```
class Circle {
private:
    int x = 0, y = 0;
    unsigned int radius = 0;

public:
    Circle(int x, int y, unsigned int radius);
    void setRadius(unsigned int)
    unsigned int getRadius() const;
    unsigned int getArea() const;
    ....
};
```

← constructeur

Les constructeurs

- sont appelés quand les objets sont **créés** afin de les **initialiser**
- sont **toujours chaînés** :
 - les constructeurs des **superclasses** sont exécutés dans l'ordre **descendant**
 - pareil en **Java** (et pour tous les langages à objets)

Définition des méthodes

Dans le fichier d'implémentation
Circle.cpp :

```
#include "Circle.h"

Circle::Circle(int _x, int _y, unsigned int _r) {
    x = _x;
    y = _y;
    radius = _r;
}

void Circle::setRadius(unsigned int r) {
    radius = r;
}

unsigned int Circle::getRadius() const {
    return radius;
}

unsigned int Circle::getArea() const {
    return 3.1416 * radius * radius;
}
```

Header Circle.h

```
class Circle {
private:
    int x, y;
    unsigned int radius;
public:
    Circle(int x, int y, unsigned int radius);
    void setRadius(unsigned int);
    unsigned int getRadius() const;
    unsigned int getArea() const;
    ....
};
```

insère le contenu de Circle.h

précise la classe :: typique du C++

ne pas répéter virtual

Définitions dans les headers

Dans le header Circle.h

```
class Circle {
private:
    int x = 0, y = 0;
    unsigned int radius = 0;

public:
    void setRadius(unsigned int r) {radius = r;}
    unsigned int getRadius() const {return radius;}
    ....
};
```

méthodes inline

Méthode **inline** = définie dans un header

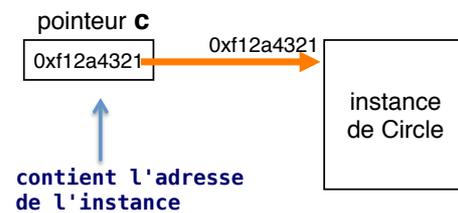
- en **théorie** : appel fonctionnel **remplacé** par son **code source**
 - exécution + rapide, mais exécutable + lourd et compilation + longue
- en **réalité** : c'est le compilateur qui décide !
 - pratique pour petites méthodes appelées souvent (accesseurs ...)

Instanciation

Dans un **autre** fichier .cpp :

```
#include "Circle.h"

int main() {
    Circle * c = new Circle(0, 0, 50);
    ....
}
```

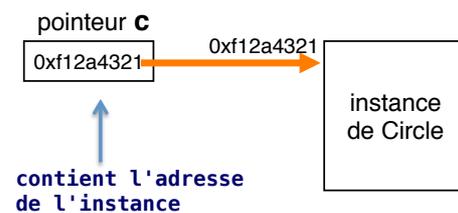


Instanciation

Dans un **autre** fichier .cpp :

```
#include "Circle.h"

int main() {
    Circle * c = new Circle(0, 0, 50);
    ....
}
```



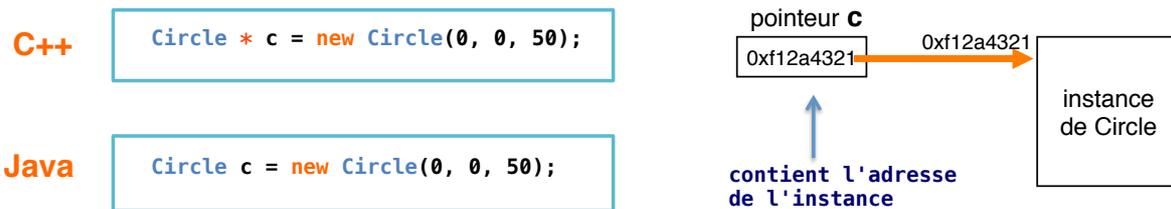
new crée un objet (= une nouvelle instance de la classe)

- 1) alloue la mémoire
- 2) appelle le **constructeur**

c est une variable locale qui pointe sur cet objet

- **c** est un **pointeur** (d'où l'*****) qui contient l'**adresse mémoire** de l'instance

Pointeurs C/C++ vs. références Java



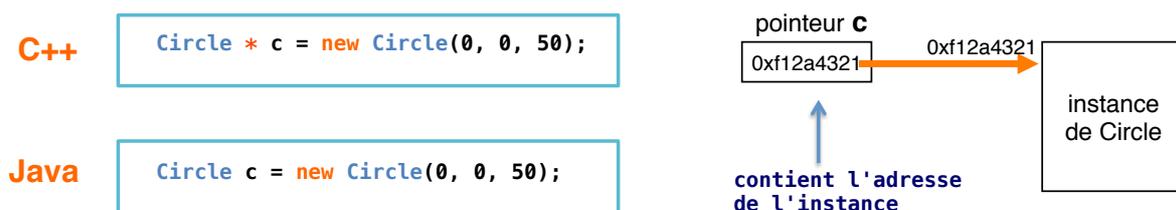
Pointeur C/C++

- **variable** qui contient une **adresse mémoire**
- valeur **accessible**, **arithmétique** des pointeurs (calcul d'adresses bas niveau)

Référence Java

- **variable** qui contient l'**adresse mémoire** d'un objet (ou mécanisme équivalent)
- valeur **cachée**, **pas** d'arithmétique

Pointeurs C/C++ vs. références Java



**LES REFERENCES JAVA
SE COMPORTENT COMME DES
POINTEURS**

Il n'y a pas de "magie", c'est à peu près la même chose

(à part qu'il y a un ramasse-miettes en Java)

Accès aux variables et méthodes d'instance

```
void foo() {  
    Circle * c = new Circle(0, 0, 50);  
    c->radius = 100;  
    unsigned int area = c->getArea();  
}
```

```
class Circle {  
private:  
    int x, y;  
    unsigned int radius;  
public:  
    Circle(int x, int y, unsigned int radius);  
    void setRadius(unsigned int);  
    unsigned int getRadius() const;  
    unsigned int getArea() const;  
    ....  
};
```

L'opérateur -> déréférence le pointeur

- comme en C
- mais . en Java

Les méthodes d'instance

- ont **automatiquement accès** aux **variables d'instance**
- sont toujours **appliquées à un objet**

Problème ?

Encapsulation

```
void foo() {  
    Circle * c = new Circle(0, 0, 50);  
    c->radius = 100; // interdit!  
    unsigned int area = c->getArea();  
}
```

```
class Circle {  
private:  
    int x, y;  
    unsigned int radius;  
public:  
    Circle(int x, int y, unsigned int radius);  
    void setRadius(unsigned int);  
    unsigned int getRadius() const;  
    unsigned int getArea() const;  
    ....  
};
```

Problème

- **radius** est **private** => **c** n'a pas le **droit** d'y accéder

Encapsulation

```
void foo() {  
    Circle * c = new Circle(0, 0, 50);  
    c->radius = 100;           // interdit!  
    unsigned int area = c->getArea();  
}
```

```
class Circle {  
private:  
    int x, y;  
    unsigned int radius;  
public:  
    Circle(int x, int y, unsigned int radius);  
    void setRadius(unsigned int);  
    unsigned int getRadius() const;  
    unsigned int getArea() const;  
    ....  
};
```

Encapsulation

- séparer la **spécification** de l'**implémentation** (concept de "boîte noire")
- **spécification** : **déclaration des méthodes**
 - interface avec l'extérieur (API) => on ne peut interagir que **via les méthodes**
- **implémentation** : **variables et définition des méthodes**
 - interne à l'objet => **seul l'objet** peut accéder à ses **variables**

Encapsulation

Abstraire

- exhiber les **concepts**
- **cacher les détails** d'implémentation

Modulariser

Encapsulation

- séparer la **spécification** de l'**implémentation** (concept de "boîte noire")
- **spécification** : **déclaration des méthodes**
 - interface avec l'extérieur (API) => on ne peut interagir que **via les méthodes**
- **implémentation** : **variables et définition des méthodes**
 - interne à l'objet => **seul l'objet** peut accéder à ses **variables**

Encapsulation

Protéger l'intégrité de l'objet

- ne peut pas être modifié à son insu => peut assurer la **validité** de ses données
- il est **le mieux placé** pour le faire !

Modulariser

- limiter les **inter-dépendances** entre composants logiciels
- pouvoir **changer l'implémentation** d'un objet sans modifier les autres

Encapsulation

- séparer la **spécification** de l'**implémentation** (concept de "boîte noire")
- **spécification : déclaration des méthodes**
 - interface avec l'extérieur (API) => on ne peut interagir que **via les méthodes**
- **implémentation : variables et définition des méthodes**
 - interne à l'objet => **seul l'objet** peut accéder à ses **variables**

Encapsulation : droits d'accès

Droits d'accès C++

- **private** : pour les objets de **cette classe** (par **défaut**)
- **protected** : également pour les **sous-classes**
- **public** : pour **tout le monde**
- **friend** : pour **certaines classes** ou **certaines fonctions**

```
class Circle {  
    friend class ShapeManager;  
    friend bool isInside(const Circle&, int x, int y);  
    ...  
};
```

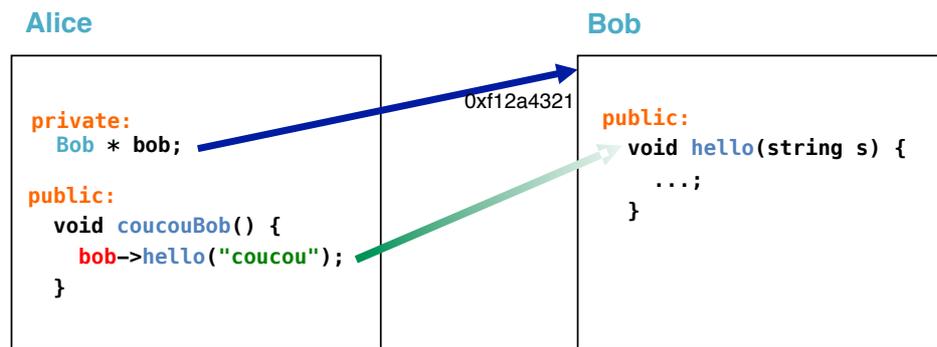
cette classe a
droit d'accès

cette fonction a
droit d'accès

Droits d'accès Java

- **private, protected, public**
- **package** (par **défaut**) = famille (ou groupe d'amis)

Accès vs. droits d'accès



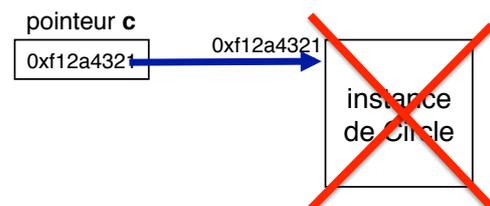
Pour "envoyer un message" à un objet il faut avoir :

- 1) son **adresse** (via un **pointeur** ou une **référence**)
- 2) le **droit** d'appeler la méthode souhaitée (via **public**, **friend**, etc.)

Il ne suffit pas d'avoir la clé de la porte encore faut-il savoir où elle se trouve !

Destruction des objets

```
void foo() {
  Circle * c = new Circle(100, 200, 35);
  ...
  delete c;
}
```



delete détruit l'objet **pointé** par le pointeur (pas le pointeur !)

- 1) appelle le **destructeur** (s'il y en a un)
- 2) libère la mémoire

Rappel: pas de ramasse miettes en C/C++ !

- sans **delete** l'objet continue d'exister jusqu'à la fin du programme
- une solution : **smart pointers** (à suivre)

Destructeur / finaliseur

Méthode appelée **AVANT**
la destruction de l'objet

Ne détruit pas l'objet !

- c'est **delete** qui le fait

En C++

- méthode `~Circle()`
- les destructeurs sont **chaînés** (chaînage ascendant)

En Java

- méthode `finalize()`
- les finaliseurs ne sont **pas** chaînés (et rarement utilisés)

```
class Circle {
public:
    ~Circle() {} ← destructeur
    ...
};

void foo() {
    Circle * c = new Circle(100, 200, 35);
    ...
    delete c;
}
```

Destructeur / finaliseur

Sert à "faire le ménage"

- fermer un fichier, une socket
- détruire d'**autres** objets :
ex: objet **auxiliaire** créé dans le constructeur

En général il n'y en a pas !

- exple: `~Circle()` ne sert à rien !
- note : les **classes de base polymorphes** doivent avoir un **destructeur virtuel** (à suivre)

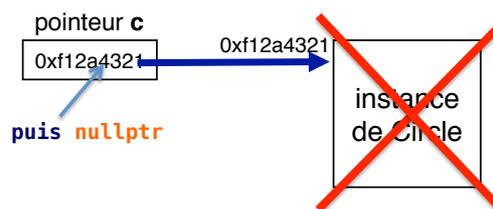
```
class Circle {
public:
    ~Circle() {} ← destructeur
    ...
};

void foo() {
    Circle * c = new Circle(100, 200, 35);
    ...
    delete c;
}
```

Pointeurs nuls vs. pendants

```
void foo(Circle * c) {  
    unsigned int area = 0;  
    if (c) area = c->getArea();  
    else perror("Null pointer");  
}
```

```
void bar() {  
    Circle * c = new Circle(10, 20, 30);  
    foo(c);  
    delete c; // l'objet est détruit => c est pendant  
    c = nullptr; // c pointe sur rien : OK!  
    foo(c); // OK car c est nul sinon plantage !  
    delete c; // OK car c est nul  
}
```



Pointeur pendant = **invalide** !

– pointe sur un **objet qui n'existe plus**

Pointeur nul = pointe sur rien

– **nullptr** en C++ (autrefois: **NULL** ou **0**) / **null** en Java

Pointeurs nuls vs. pendants

initialiser les pointeurs
les mettre à nul après delete

```
Circle * c; // c pendant = DANGER !!!  
Circle * c = nullptr; // OK  
Circle * c = new Circle(); // OK
```

```
delete c; // c est pendant = DANGER !!!  
c = nullptr; // c pointe sur rien = OK!
```

Pointeur pendant = **invalide** !

– pointe sur un **objet qui n'existe plus**

Pointeur nul = pointe sur rien

– **nullptr** en C++ (autrefois: **NULL** ou **0**) / **null** en Java

Précisions sur les constructeurs

Trois formes

```
class Circle {  
private:  
    int x, y;  
    unsigned int radius;  
public:  
    Circle(int x, int y, unsigned int radius);  
    ....  
};
```

```
Circle(int _x, int _y) {  
    x = _x; y = _y; radius = 0;  
}
```

←..... comme Java

```
Circle(int x, int y) : x(x), y(y), radius(0) {}
```

←..... que C++: vérifie l'ordre
x(x) est OK

```
Circle(int x, int y) : x{x}, y{y}, radius{0} {}
```

←..... que C++11: compatible avec
tableaux et conteneurs

Précisions sur les constructeurs

Trois formes

```
class Circle {  
private:  
    int x, y;  
    unsigned int radius;  
public:  
    Circle(int x, int y, unsigned int radius);  
    ....  
};
```

```
Circle(int _x, int _y) {  
    x = _x; y = _y; radius = 0;  
}
```

←..... comme Java

```
Circle(int x, int y) : x(x), y(y), radius(0) {}
```

←..... que C++: vérifie l'ordre
x(x) est OK

```
Circle(int x, int y) : x{x}, y{y}, radius{0} {}
```

←..... que C++11: compatible avec
tableaux et conteneurs

Attention : Initialiser les pointeurs et les types de base :

```
Circle(int x, int y) : x(x), y(y) {}
```

←..... **DANGER: radius aléatoire !**

Surcharge (overloading)

```
class Circle {
    Circle();
    Circle(int x, int y);
    Circle(int x, int y, unsigned int r);
    void setCenter(int x, int y);
    void setCenter(Point point);
};
```

Fonctions ou méthodes

- ayant le même nom mais des **signatures différentes**
- pareil en **Java**

Attention : méthodes d'une **même** classe !

- ne pas confondre avec la **redéfinition de méthodes** (overriding) dans une **hiérarchie** de classes

Paramètres par défaut

```
class Circle {
    Circle(int x = 0, int y = 0, unsigned int r = 0);
    ....
};

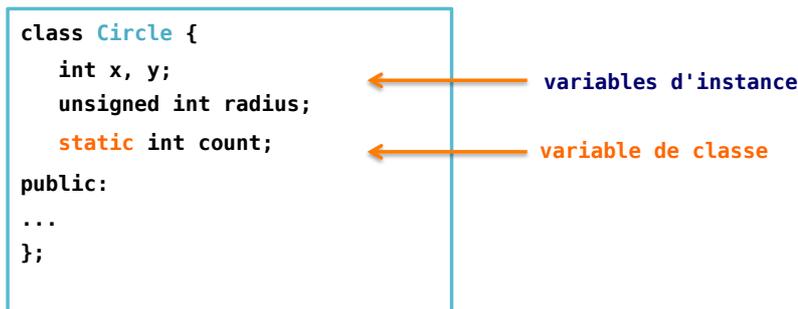
Circle * c1 = new Circle(10, 20, 30);
Circle * c2 = new Circle(10, 20);
Circle * c2 = new Circle();
```

Alternative à la surcharge

- n'existe pas en **Java**
- les valeurs par défaut doivent être à partir de la fin
- erreur de compilation s'il y a des ambiguïtés

```
Circle(int x = 0, int y, unsigned int r = 0); // ne compile pas !
```

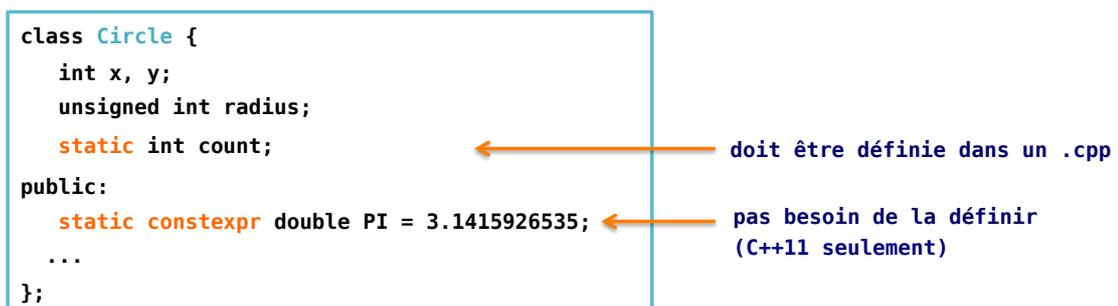
Variables de classe



Représentation unique en mémoire

- mot-clé **static** comme en Java
- la variable **existe toujours**, même si la classe n'a pas été instanciée

Variables de classe (définition)



Les variables **static** doivent être définies

- dans un (et un seul) fichier .cpp

```
// dans Circle.cpp
int Circle::count = 0;
```

Sauf

- si le type est **const int**
- en utilisant **constexpr** (C++11)

Méthodes de classe

```
class Circle {  
    ...  
    static int count;           ← variable de classe  
public:  
    static int getCount() {return count;} ← méthode de classe  
    ...  
};  
  
void foo() {  
    int num = Circle::getCount(); ← appel de la méthode de classe  
    ....  
}
```

Ne s'appliquent pas à un objet

- mot-clé **static** comme en **Java**
- ont accès (seulement) aux **variables de classe**
- comme les **fonctions du C** mais réduisent les **collisions de noms**

Namespaces

fichier math/Circle.h

```
namespace math {  
    class Circle {  
        ...  
    };  
}
```

fichier graph/Circle.h

```
namespace graph {  
    class Circle {  
        ...  
    };  
}
```

```
#include "math/Circle.h"  
#include "graph/Circle.h"  
  
int main() {  
    math::Circle * mc = new math::Circle();  
    graph::Circle * gc = new graph::Circle();  
}
```

namespace = espace de nommage

- évitent les **collisions de noms**
- similaires aux **package** de Java, existent aussi en **C#**

using namespace

fichier math/Circle.h

```
namespace math {  
    class Circle {  
        ...  
    };  
}
```

fichier graph/Circle.h

```
namespace graph {  
    class Circle {  
        ...  
    };  
}
```

```
#include "math/Circle.h"  
#include "graph/Circle.h"
```

```
using namespace math;
```

← math accessible par défaut

```
int main() {
```

```
    Circle * mc = new Circle();
```

← équivaut à math::Circle

```
    graph::Circle * gc = new graph::Circle();
```

```
}
```

using namespace

- modifie la **portée** : symboles de ce **namespace** directement accessibles
- similaire à **import** en Java

Streams: entrées / sorties standard

```
#include "Circle.h"
```

```
#include <iostream>
```

← flux d'entrées/sorties

```
int main() {
```

```
    Circle * c = new Circle(100, 200, 35);
```

```
    std::cout << "radius: " << c->getRadius() << '\n'
```

```
        << "area: " << c->getArea()
```

```
        << std::endl;
```

← passe à la ligne et vide le buffer

```
}
```

Flux standards

std = namespace de la **bibliothèque standard**

std::cout **console out** = **sortie** standard

std::cerr **console erreurs** = **sortie** des **erreurs** (non bufferisées : affichage immédiat)

std::cin **console in** = **entrée** standard

Streams: entrées / sorties standard

```
#include "Circle.h"
#include <iostream>

int main() {
    Circle * c = new Circle(100, 200, 35);
    std::cout << "radius: " << c->getRadius() << '\n'
              << "area: " << c->getArea()
              << std::endl;
}
```

```
#include "Circle.h"
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
    Circle * c = new Circle(100, 200, 35);
    cout << "radius: " << c->getRadius() << '\n'
         << "area: " << c->getArea()
         << endl;
}
```

std accessible par défaut

std:: optionnel

Streams: fichiers

```
#include "Circle.h"
#include <iostream>
#include <fstream>

void foo(std::ostream & s, Circle * c) {
    s << c->getRadius() << ' ' << c->getArea() << std::endl;
}

void foo() {
    Circle * c = new Circle(100, 200, 35);
    foo(std::cout, c);

    std::ofstream file("log.txt");
    if (file) foo(file, c);
}
```

fichiers

ostream = flux de sortie
noter le & (à suivre)

on peut écrire
sur la console
ou dans un fichier

Flux génériques

ostream output stream
istream input stream

Flux pour fichiers

ofstream output file stream
ifstream input file stream

Streams: buffers

```
#include "Circle.h"
#include <iostream>
#include <sstream> ← buffers de texte

void foo(std::ostream & s, Circle * c) {
    s << c->getRadius() <<' ' << c->getArea() << std::endl;
}

void foo() {
    Circle * c = new Circle(100, 200, 35);
    std::stringstream ss;
    foo(ss, c); ← écrit dans un buffer

    unsigned int r = 0, a = 0;
    ss >> r >> a; ← lit depuis un buffer
    cout << ss.str() << endl;
}
```

Flux pour buffers

stringstream input/output buffer

stringstream input buffer

stringstream output buffer

Retour sur les méthodes d'instance : où est la magie ?

Toujours appliquées à un objet :

```
void foo() {
    Circle * c = new Circle(100, 200, 35);
    unsigned int r = c->getRadius();
    unsigned int a = getArea(); // problème !!!
}
```

Mais pas la pourquoi ?

```
unsigned int getArea() const {
    return PI * getRadius() * getRadius();
}
```

Comment la méthode accède à radius ?

```
unsigned int getRadius() const {
    return radius;
}
```

```
class Circle {
private:
    int x, y;
    unsigned int radius;
public:
    Circle(int x, int y, unsigned int radius);
    void setRadius(unsigned int);
    unsigned int getRadius() const;
    unsigned int getArea() const;
    ....
};
```

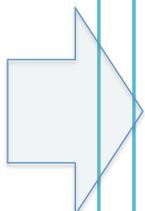
Le *this* des méthodes d'instance

Le compilateur fait la transformation :

```
unsigned int a = c->getRadius();
```

```
unsigned int getRadius() const {  
    return radius;  
}
```

```
unsigned int getArea() const {  
    return PI * getRadius() * getRadius();  
}
```



```
unsigned int a = getRadius(c);
```

```
unsigned int getRadius(Circle * this) const {  
    return this->radius;  
}
```

```
unsigned int getArea(Circle * this) const {  
    return PI * getRadius(this) * getRadius(this);  
}
```

Le paramètre caché *this* permet :

- d'accéder aux variables d'instance
- d'appeler les autres méthodes d'instance sans avoir à indiquer l'objet

Documentation

```
/** @brief modélise un cercle.  
 * Un cercle n'est pas un carré ni un triangle.  
 */  
class Circle {  
    /// retourne la largeur.  
    unsigned int getWidth() const;  
  
    unsigned int getHeight() const;    ///< retourne la hauteur.  
  
    void setPos(int x, int y);  
    /**< change la position: @see setX(), setY().  
    */  
    ...  
};
```

Doxygen : documentation automatique

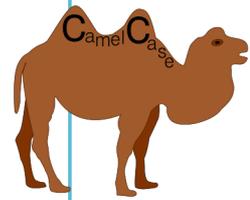
- similaire à **JavaDoc** mais plus général (fonctionne avec de nombreux langages)
- documentation : www.doxygen.org

Style et commentaires

```
/** @brief modélise un cercle.
 *  Un cercle n'est pas un carré ni un triangle.
 */
class Circle {
    /// retourne la largeur.
    unsigned int getWidth() const;

    unsigned int getHeight() const;    ///< retourne la hauteur.

    void setPos(int x, int y);
    /**< change la position: @see setX(), setY().
     */
    ...
};
```



Règles

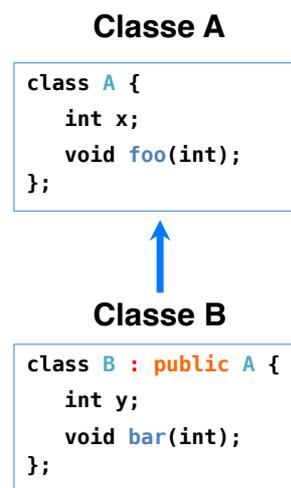
- être **cohérent**
- **indenter** (utiliser un IDE qui le fait **automatiquement** : **TAB** ou **Ctrl-I** en général)
- **aérer** et **passer à la ligne** (éviter plus de 80 colonnes)
- **camelCase** et mettre le **nom des variables** (pour la doc)
- **commenter** quand c'est utile

Chapitre 2 : Héritage et polymorphisme

Héritage

2^e Concept fondamental de l'OO

- les sous-classes **héritent** les **méthodes** et **variables** de leurs super-classes :
 - la classe **B** a une méthode **foo()** et une variable **x**
- **héritage simple**
 - une classe ne peut hériter que d'**une** superclasse
- **héritage multiple**
 - une classe peut hériter de **plusieurs** classes
 - C++, Python, Eiffel, Java 8 ...
- **entre les deux**
 - héritage multiple des **interfaces**
 - Java, C#, Objective C ...



Règles d'héritage

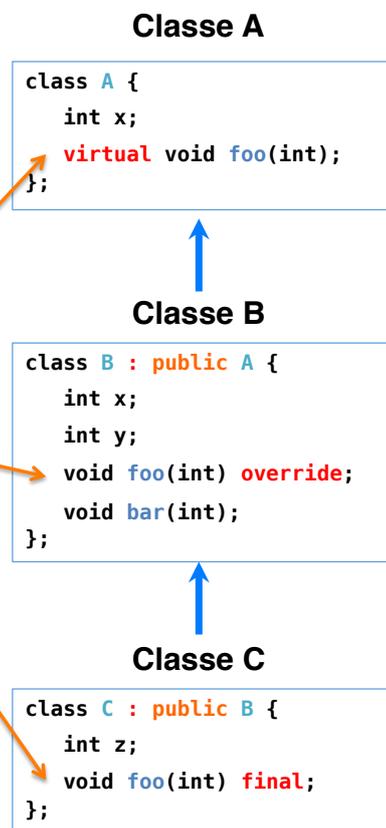
Constructeurs / destructeurs

- pas hérités (mais **chaînés** !)

Méthodes

- héritées
- peuvent être **redéfinies** (overriding)
 - la nouvelle méthode **remplace** celle de la superclasse

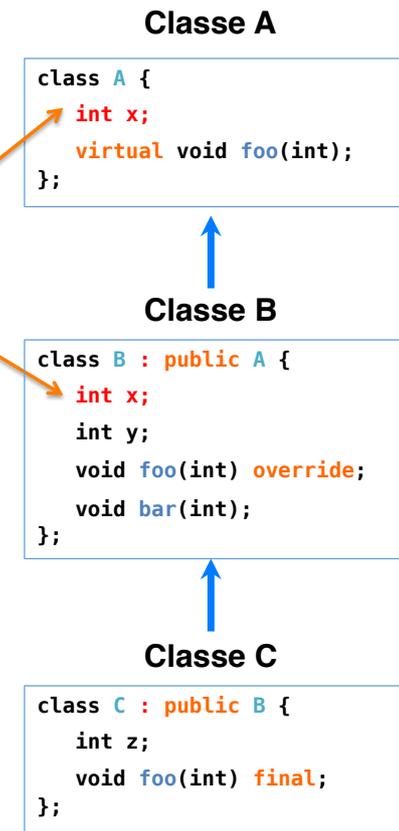
public : héritage (comme **extends** de Java)
virtual : définition de plus haut niveau
override : redéfinition (C++11)
final : ne peut être redéfinie (C++11)



Règles d'héritage

Variables

- héritées
- peuvent être **surajoutées** (shadowing)
- **attention** : la nouvelle variable **cache** celle de la superclasse :
 - **B** a deux variables **x** : **x** et **A::x**
- à éviter !



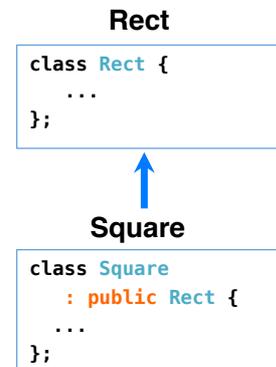
Exemple

```
class Rect {
protected:
    int x, y;
    unsigned int width, height;
public:
    Rect();
    Rect(int x, int y, unsigned int w, unsigned int h);

    unsigned int getWidth() const;
    unsigned int getHeight() const;
    virtual void setWidth(unsigned int w);
    virtual void setHeight(unsigned int h);
    //...etc...
};
```

```
class Square : public Rect {
public:
    Square();
    Square(int x, int y, unsigned int size);

    void setWidth(unsigned int w) override;
    void setHeight(unsigned int h) override;
};
```



Dérivation de classe:
=> comme **extends** de Java

Redéfinition de méthode
=> **override** (C++11)

Pourquoi faut-il redéfinir ces deux méthodes ?

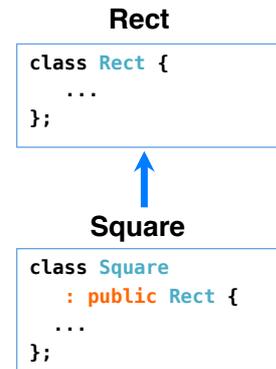
Exemple

```
class Rect {
protected:
    int x, y;
    unsigned int width, height;
public:
    Rect();
    Rect(int x, int y, unsigned int w, unsigned int h);

    unsigned int getWidth() const;
    unsigned int getHeight() const;
    virtual void setWidth(unsigned int w) {width = w;}
    virtual void setHeight(unsigned int h) {height = h;}
    //...etc...
};

class Square : public Rect {
public:
    Square();
    Square(int x, int y, unsigned int size);

    void setWidth(unsigned int w) override {width = height = w;}
    void setHeight(unsigned int h) override {width = height = h;}
};
```



sinon ce n'est plus un carré !

Chaînage des constructeurs

```
class Rect {
protected:
    int x, y;
    unsigned int width, height;
public:
    Rect() : x(0),y(0),width(0),height(0) {}
    Rect(int x, int y, unsigned int w, unsigned int h) : x(x),y(y),width(w),height(h) {}

    unsigned int getWidth() const;
    unsigned int getHeight() const;
    virtual void setWidth(unsigned int w);
    virtual void setHeight(unsigned int h);
    //...etc...
};

class Square : public Rect {
public:
    Square() {}
    Square(int x, int y, unsigned int size) : Rect(x, y, size, size) {}

    void setWidth(unsigned int w) override;
    void setHeight(unsigned int h) override;
};
```

Chaînage implicite des constructeurs
=> appelle Rect()

Chaînage explicite des constructeurs
=> comme super() de Java

Remarques

Chaînage des constructeurs

`Square::Square() : Rect() {}` chaînage **explicite** du constr. de la superclasse

`Square::Square() {}` chaînage **implicite** : fait la même chose

`Square::Square(int x, int y, unsigned int w) : Rect(x, y, w, w) {}` même chose que **super()** de Java

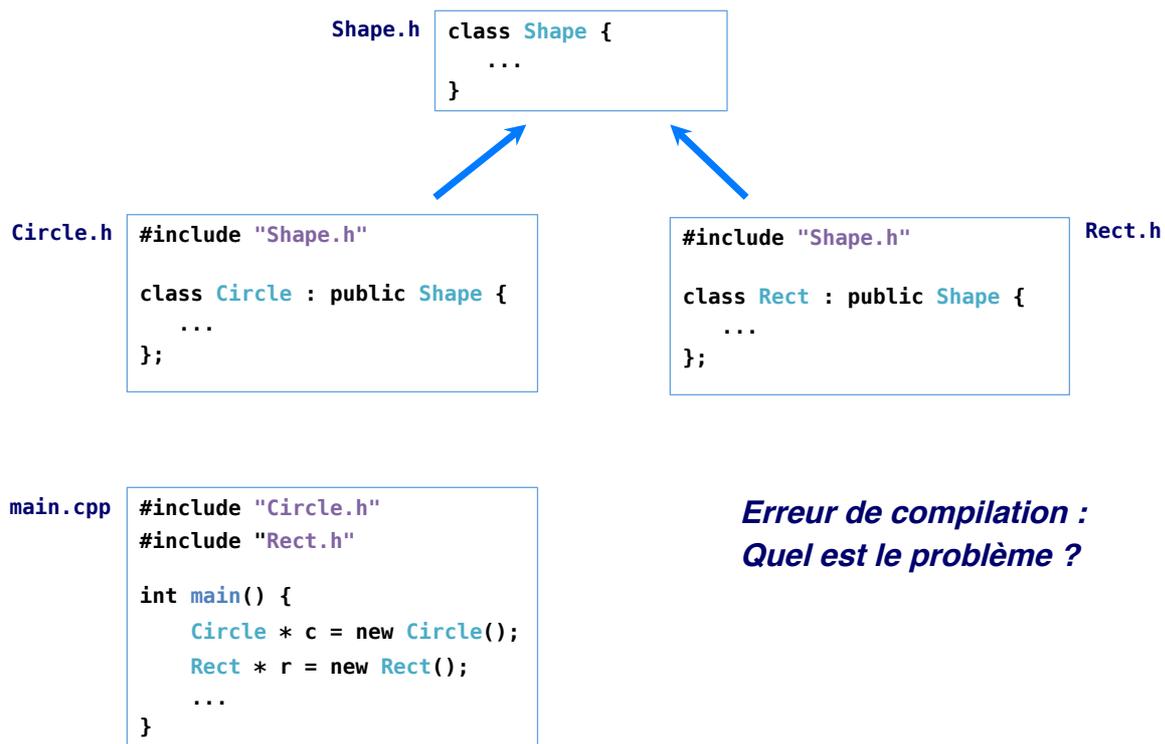
Covariance des types de retour

- redéfinition de méthode => même signature
- mais **Muche** peut-être une sous-classe de **Truc**

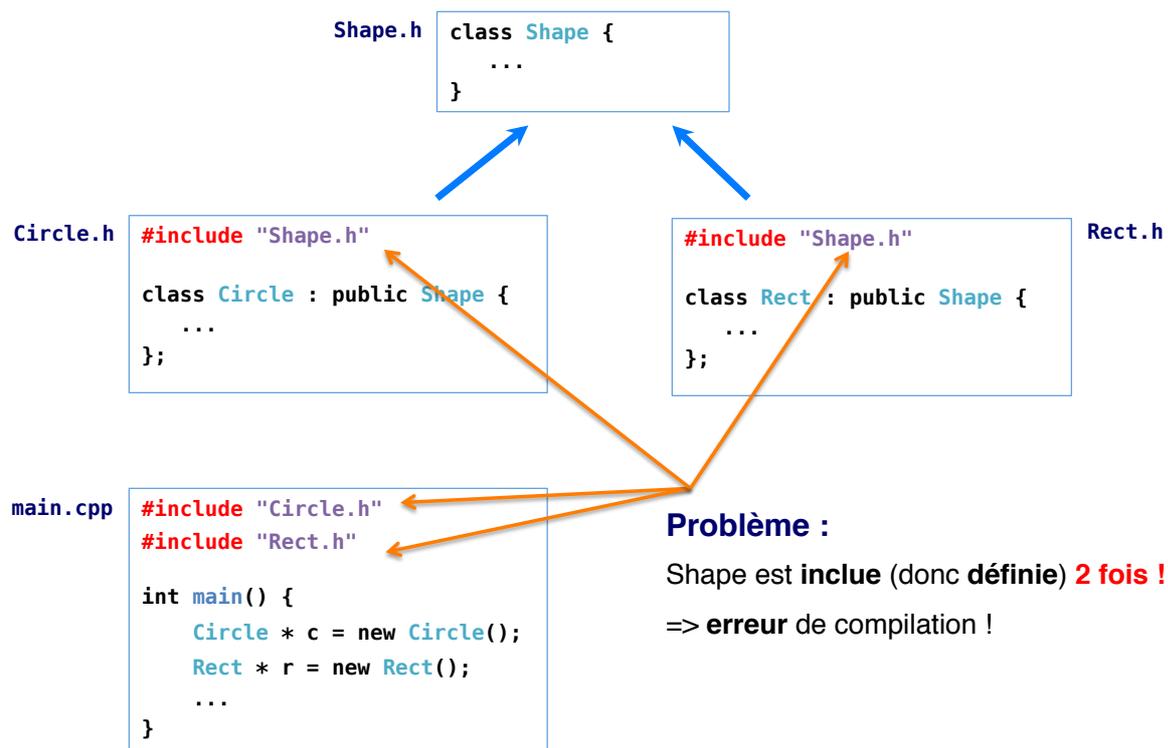
```
class A {
    virtual Truc * makeAux();
    ...
}

class B : public A {
    virtual Muche * makeAux();
    ...
}
```

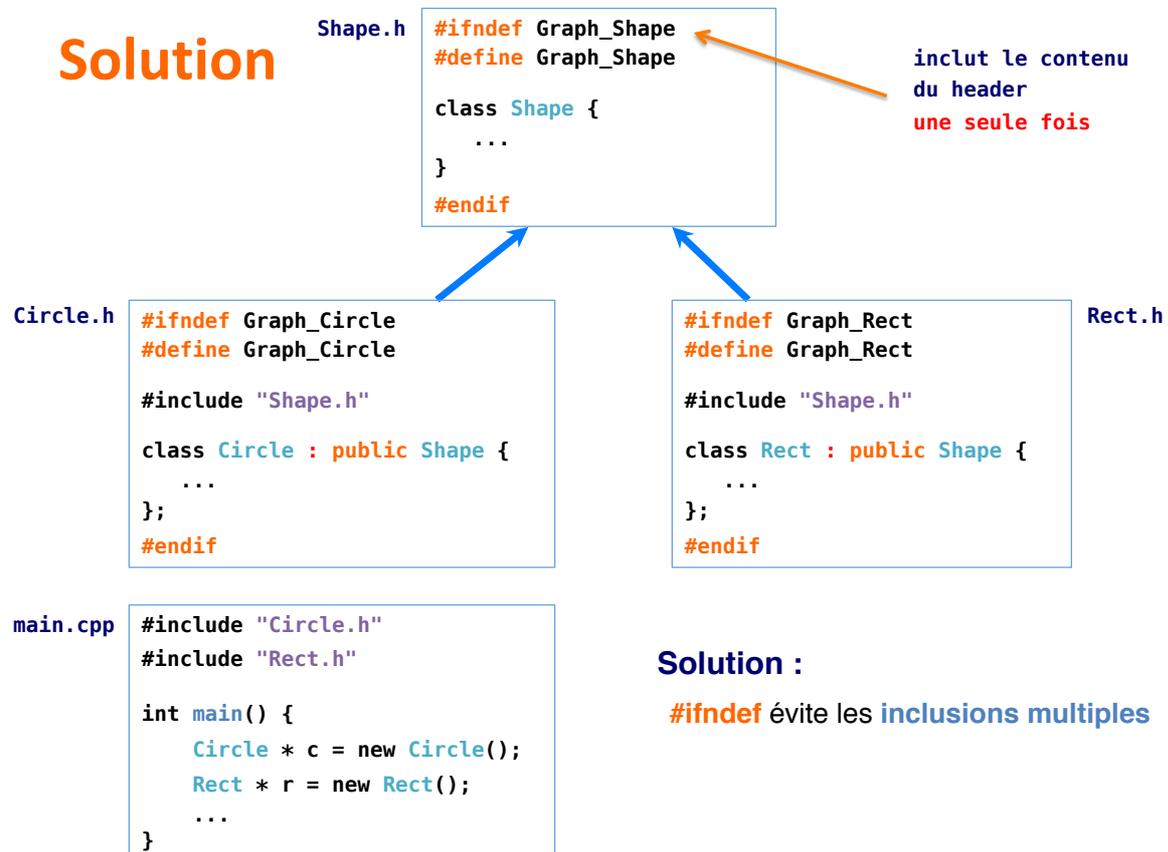
Classes de base



Classes de base: problème!



Solution



Directives du préprocesseur

```
Header
Truc.h
#ifdef Truc
#define Truc

class Truc {
    ...
};

#endif
```

inclut ce qui suit jusqu'à #endif
seulement si Truc n'est pas déjà défini

définit Truc
- doit être unique
- => à forger sur nom du header

Directives de compilation

- #if / #ifdef / #ifndef pour **compilation conditionnelle**
- #import (au lieu de #include) empêche l'inclusion multiple (mais pas standard)

Headers

- #include "Circle.h" cherche dans le **répertoire courant**
- #include <iostream> cherche dans les **répertoires systèmes** (/usr/include, etc.)
et dans ceux spécifiés par l'**option -I** du compilateur :

```
gcc -Wall -I/usr/X11R6/include -o myprog Circle.cpp main.cpp
```

Polymorphisme d'héritage

3^e concept fondamental de l'orienté objet

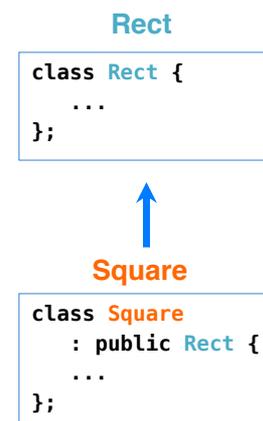
- le plus puissant mais pas toujours le mieux compris !

Un objet peut être vu sous plusieurs formes

- un **Square** est aussi un **Rect**
- mais l'inverse n'est pas vrai !

```
#include "Rect.h"

void foo() {
    Square * s = new Square(); // s voit l'objet comme un Square
    Rect * r = s; // r voit objet comme un Rect (upcasting implicite)
    ...
    Square * s2 = new Rect(); // OK ?
    Square * s3 = r; // OK ?
}
```



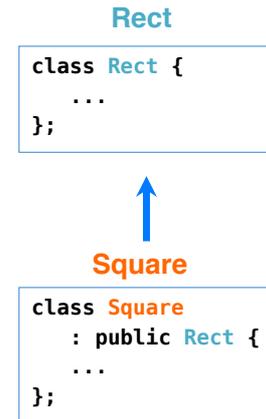
Buts du polymorphisme

Pouvoir choisir le **point de vue le plus approprié** selon les besoins

Pouvoir traiter un ensemble de classes liées entre elles de **manière uniforme sans considérer leurs détails**

```
#include "Rect.h"

void foo() {
    Square * s = new Square(); // s voit l'objet comme un Square
    Rect * r = s; // r voit objet comme un Rect (upcasting implicite)
    ...
    Square * s2 = new Rect(); // erreur de compilation! (downcasting interdit !)
    Square * s3 = r; // erreur de compilation!
}
```

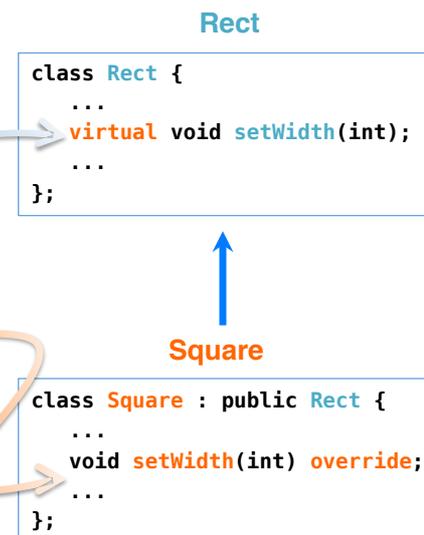
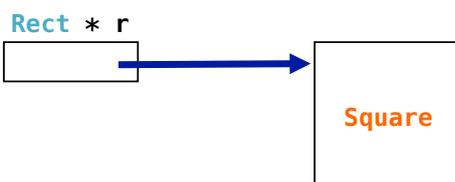


Polymorphisme

Question à \$1000

- quelle méthode `setWidth()` est appelée : celle du **pointeur** ou celle du **pointé** ?
- avec **Java** ?
- avec **C++** ?

```
Rect * r = new Square();
r->setWidth(100);
```

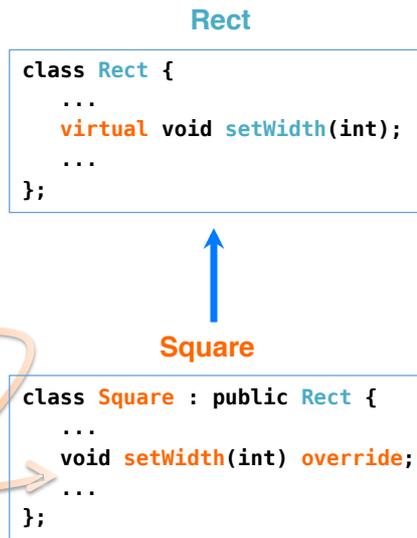


Polymorphisme : Java

Question à \$1000

- quelle méthode `setWidth()` est appelée : celle du **pointeur** ou celle du **pointé** ?

```
Rect * r = new Square();  
r->setWidth(100);
```



Java

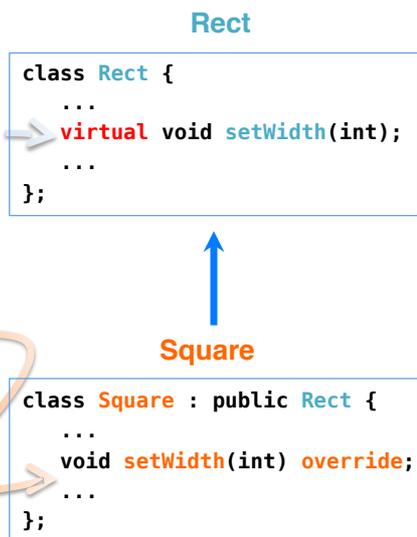
- **liaison dynamique / tardive** : choix de la méthode à l'exécution
- ⇒ appelle toujours la méthode du **pointé**
 - *heureusement sinon le carré deviendrait un rectangle !*

Polymorphisme : C++

Question à \$1000

- quelle méthode `setWidth()` est appelée : celle du **pointeur** ou celle du **pointé** ?

```
Rect * r = new Square();  
r->setWidth(100);
```



C++

- avec **virtual** : **liaison dynamique / tardive** ⇒ méthode du **pointé** comme **Java**
- sans **virtual** : **liaison statique** ⇒ méthode du **pointeur**
 - ⇒ *comportement incohérent dans cet exemple !*

Règles à suivre

Première définition

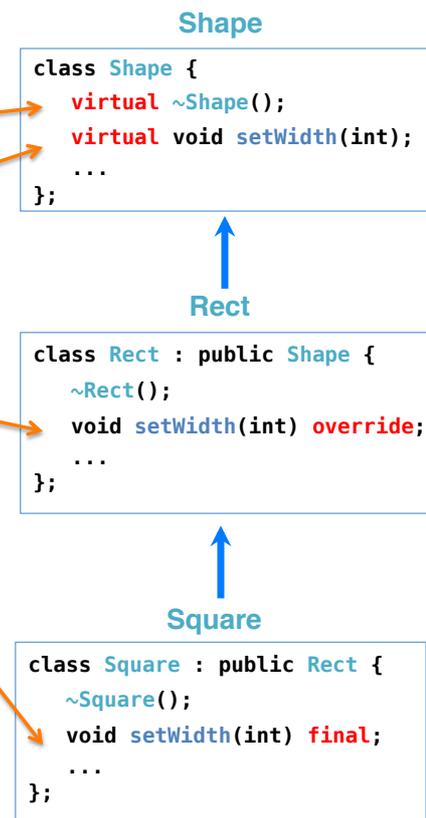
- ⇒ mettre **virtual**
- ⇒ y compris pour les **destructeurs**

Redéfinitions

- ⇒ mettre **override** ou **final** (en C++11)
- ⇒ vérifie que méthode parente est **virtual** ou **override**

Destructeurs virtuels

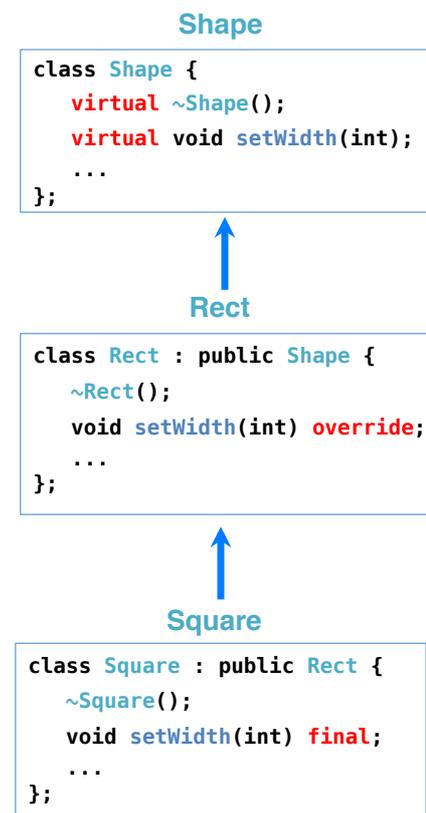
```
Rect * r = new Square();  
  
// appelle ~Square() et ~Rect() car ~Shape() virtual  
delete r;
```



Règles à suivre

Remarques

- une **redéfinition** de méthode **virtuelle** est automatiquement **virtuelle**
- une classe peut être **final**
- **attention** : **même signature** sinon c'est de la **surcharge** !

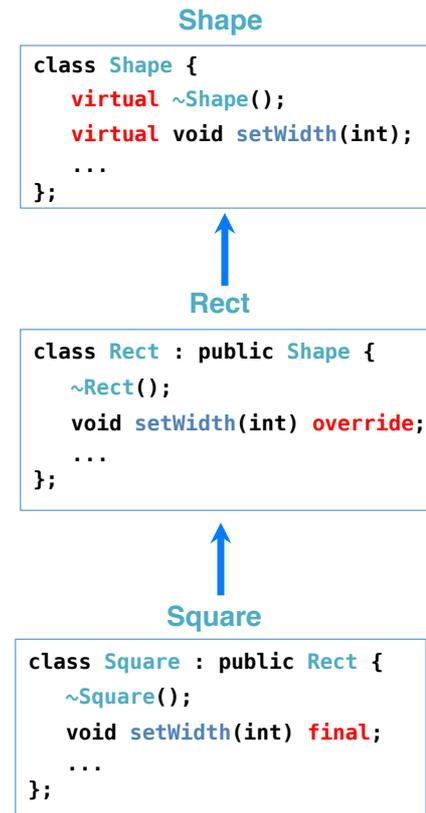


Règles à suivre

Méthodes non virtuelles : dans quel cas ?

- classe pas héritée
- méthode jamais redéfinie
 - typiquement : getters et setters
- méthode qu'on l'appelle **très très très** souvent :
 - appel un peu plus rapide
 - généralement **négligeable!**
 - gare aux erreurs !

Dans le doute on peut mettre
virtual partout et optimiser plus tard !



Méthodes et classes abstraites

```
class Shape {
public:
    virtual void setWidth(unsigned int) = 0;    // méthode abstraite
    ...
};
```

Méthode abstraite

- spécification d'un **concept** dont la réalisation diffère selon les sous-classes
 - pas implémentée
 - doit être **redéfinie** et **implémentée** dans les sous-classes **instanciables**

Classe abstraite

- classe dont **au moins** une méthode est abstraite

Java

- pareil mais mot clé **abstract**

Bénéfices des classes abstraites

```
class Shape {  
public:  
    virtual void setWidth(unsigned int) = 0;    // méthode abstraite  
    ...  
};
```

Méthode abstraite

– spécification d'un **concept** dont la réalisation diffère selon les sous-classes

- **pas implémentée**
- doit être **redéfinie et implémentée** dans les sous-classes **instanciables**

Traiter un ensemble de classes liées entre elles :

- **de manière uniforme sans considérer leurs détails**
- **avec un degré d'abstraction plus élevé**

Imposer une spécification que les sous-classes doivent implémenter

- sinon erreur de compilation !
- façon de « mettre l'**UML** dans le code »

Exemple de classe abstraite

```
class Shape {  
    int x, y;  
public:  
    Shape() : x(0), y(0) {}  
    Shape(int x, int y) : x(x), y(y) {}  
  
    int getX() const {return x;}  
    int getY() const {return y;}  
    virtual unsigned int getWidth() const = 0;  
    virtual unsigned int getHeight() const = 0;  
    virtual unsigned int getArea() const = 0;  
    ....  
};  
  
class Circle : public Shape {  
    unsigned int radius;  
public:  
    Circle() : radius(0) {}  
    Circle(int x, int y, unsigned int r) : Shape(x, y), radius(r) {}  
  
    unsigned int getRadius() const {return radius;}  
    virtual unsigned int getWidth() const {return 2 * radius;}  
    virtual unsigned int getHeight() const {return 2 * radius;}  
    virtual unsigned int getArea() const {return PI * radius * radius;}  
    ....  
}
```

implémentation commune à toutes les sous-classes

méthodes abstraites: l'implémentation dépend des sous-classes

doivent être implémentées dans les sous-classes

Interfaces

```
class Shape {  
public:  
    virtual int getX() const = 0;  
    virtual int getY() const = 0;  
    virtual unsigned int getWidth() const = 0;  
    virtual unsigned int getHeight() const = 0;  
    virtual unsigned int getArea() const = 0;  
};
```

pas de variables d'instance
ni de constructeurs

toutes les méthodes sont
abstraites

Classes totalement abstraites (en théorie)

- pure **spécification** : toutes les méthodes sont **abstraites**
- ont un rôle particulier pour l'**héritage multiple** en **Java**, **C#**, etc.
 - **C++** : pas de mot clé, cas particulier de **classe abstraite**
 - **Java** : mot clé **interface**
 - en **Java 8** les interfaces peuvent avoir des implémentations de méthodes !

Traitements uniformes

```
#include "Rect.h"  
#include "Circle.h"  
  
void foo() {  
    Shape ** shapes = new Shape * [10];  
  
    unsigned int count = 0;  
    shapes[count++] = new Circle(0, 0, 100);  
    shapes[count++] = new Rect(10, 10, 35, 40);  
    shapes[count++] = new Square(0, 0, 60);  
  
    printShapes(shapes, count);  
}
```

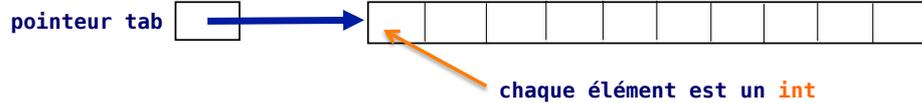
tableau de 10 Shape *

```
#include <iostream>  
#include "Shape.h"  
  
void printShapes(Shape ** tab, unsigned int count) {  
    for (unsigned int k = 0; k < count; ++k) {  
        cout << "Area = " << tab[k]->getArea() << endl;  
    }  
}
```

Tableaux dynamiques

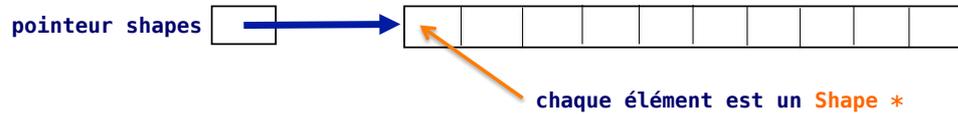
```
int * tab = new int[10];  
...  
delete [] tab; // ne pas oublier []
```

tableau de 10 int



```
Shape ** shapes = new Shape * [10];  
...  
delete [] shapes;
```

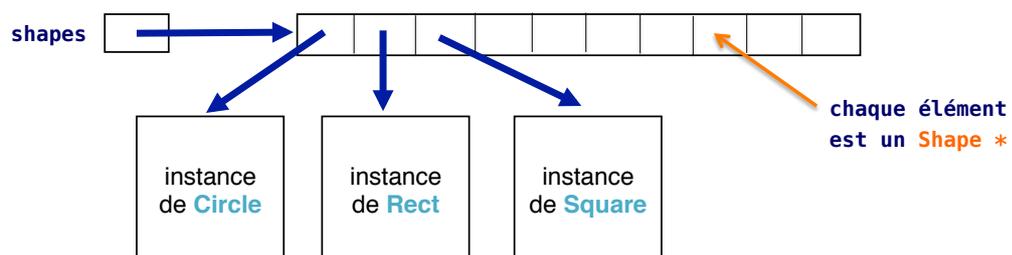
tableau de 10 Shape *



Traitements uniformes (2)

```
#include "Rect.h"  
#include "Circle.h"  
  
void foo() {  
    Shape ** shapes = new Shape * [10];  
  
    unsigned int count = 0;  
    shapes[count++] = new Circle(0, 0, 100);  
    shapes[count++] = new Rect(10, 10, 35, 40);  
    shapes[count++] = new Square(0, 0, 60);  
  
    printShapes(shapes, count);  
}
```

équivalent à:
shapes[count] = ...;
count++;



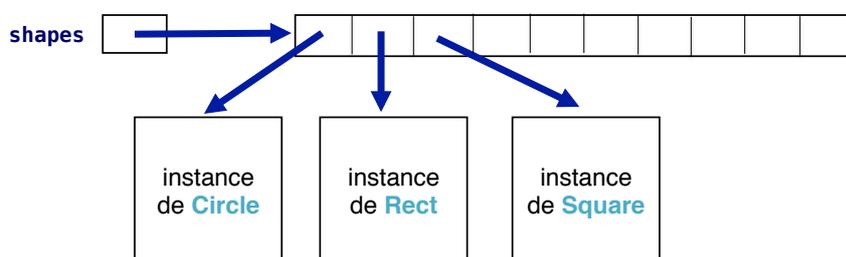
Magie du polymorphisme

```
#include <iostream>
#include "Shape.h"

void printShapes(Shape ** tab, unsigned int count) {
    for (unsigned int k = 0; k < count; ++k) {
        cout << "Area = " << tab[k]->getArea() << endl;
    }
}
```

taille en paramètre
pas d'autre moyen
de la connaître !

C'est toujours la bonne version de `getArea()` qui est appelée !



Magie du polymorphisme

```
#include <iostream>
#include "Shape.h"

void printShapes(Shape ** tab, unsigned int count) {
    for (unsigned int k = 0; k < count; ++k) {
        cout << "Area = " << tab[k]->getArea() << endl;
    }
}
```

Remarque

- cette fonction **ignore** l'existence de `Circle`, `Rect`, `Square` !

Mission accomplie !

- on peut traiter un ensemble de classes liées entre elles de **manière uniforme sans considérer leurs détails**
- on peut même rajouter de **nouvelles classes sans modifier l'existant**

Chaînage des méthodes

Règle générale : éviter les duplications de code

- à plus ou moins long terme ça **diverge** !
 - ⇒ code difficile à **comprendre**
 - ⇒ difficile à **maintenir**
 - ⇒ probablement **buggé** !

Solutions

- utiliser l'**héritage** !
- le cas échéant, **chaîner** les méthodes des superclasses

```
class NamedRect : public Rect {
public:
    virtual void draw() {           // affiche le rectangle et son nom
        Rect::draw();              // trace le rectangle
        // code pour afficher le nom ...
    }
};
```

Concepts fondamentaux de l'orienté objet

En résumé : 4 fondamentaux

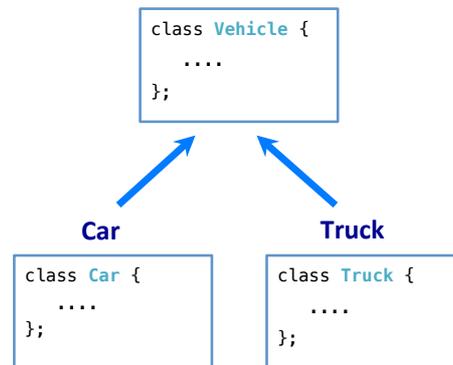
- 1) **méthodes** : lien entre les fonctions et les données
- 2) **encapsulation** : crucial en OO (mais possible avec des langages non OO)
- 3) **héritage** : simple ou multiple
- 4) **polymorphisme d'héritage (dynamique)** : toute la puissance de l'OO !

Implémentation des méthodes virtuelles

```
class Vehicle {
public:
    virtual void start();
    virtual int getColor();
    ...
};

class Car : public Vehicle {
public:
    void start() override;
    virtual void setDoors(int doors);
    ...
};

class Truck : public Vehicle {
public:
    void start() override;
    virtual void setPayload(int payload);
    ...
};
```

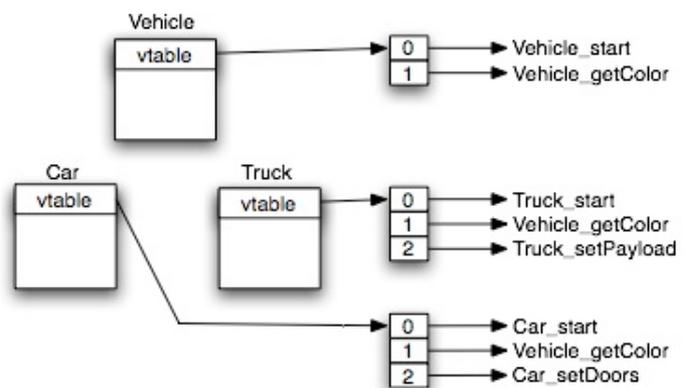


Implémentation des méthodes virtuelles

```
class Vehicle {
    __VehicleTable * __vtable;
public:
    virtual void start();
    virtual int getColor();
    ...
};

class Car : public Vehicle {
    __CarTable * __vtable;
public:
    void start() override;
    virtual void setDoors(int doors);
    ...
};

class Truck : public Vehicle {
    __TruckTable * __vtable;
public:
    void start() override;
    virtual void setPayload(int payload);
    ...
};
```



vtable

- chaque **objet** pointe vers la **vtable** de sa **classe**
- **vtable** = tableau de pointeurs de fonctions

```
Vehicle * p = new Car();
p->start(); == (p->__vtable[0])();
```

Implémentation des méthodes virtuelles

```
class Vehicle {
    __VehicleTable * __vtable;
public:
    virtual void start();
    virtual int getColor();
    ...
};

class Car : public Vehicle {
    __CarTable * __vtable;
public:
    void start() override;
    virtual void setDoors(int doors);
    ...
};

class Truck : public Vehicle {
    __TruckTable * __vtable;
public:
    void start() override;
    virtual void setPayload(int payload);
    ...
};
```

```
0000000100000ff0 t __ZN3Car5startEv
0000000100000f40 t __ZN3CarC1Ei
0000000100000f70 t __ZN3CarC2Ei

00000001000010b0 t __ZN7Vehicle5startEv
0000000100001c70 t __ZN7Vehicle8getColorEv
0000000100000fc0 t __ZN7VehicleC2Ei

0000000100002150 D __ZTI3Car
0000000100002140 D __ZTI7Vehicle
    U __ZTVN10_cxxabiv117__class_type_infoE
    U __ZTVN10_cxxabiv120__si_class_type_infoE

0000000100000ec0 T _main
```

Coût des méthodes virtuelles

```
class Vehicle {
    __VehicleTable * __vtable;
public:
    virtual void start();
    virtual int getColor();
    ...
};

class Car : public Vehicle {
    __CarTable * __vtable;
public:
    void start() override;
    virtual void setDoors(int doors);
    ...
};

class Truck : public Vehicle {
    __TruckTable * __vtable;
public:
    void start() override;
    virtual void setPayload(int payload);
    ...
};
```

Coût d'exécution

- **double indirection**
 - coût généralement **négligeable**
- **cas où ça compte :**
 - méthode appelée **très très très** souvent
 - ⇒ plus rapide si **non virtuelle**
 - ⇒ mais **gare aux erreurs** si on redéfinit la méthode !

```
Vehicle * p = new Car();

p->start(); == (p->__vtable[#start])();
```

Coût des méthodes virtuelles

```
class Vehicle {
    __VehicleTable * __vtable;
public:
    virtual void start();
    virtual int getColor();
    ...
};

class Car : public Vehicle {
    __CarTable * __vtable;
public:
    void start() override;
    virtual void setDoors(int doors);
    ...
};

class Truck : public Vehicle {
    __TruckTable * __vtable;
public:
    void start() override;
    virtual void setPayload(int payload);
    ...
};
```

Coût mémoire

- un pointeur (*vtable*) par objet
- ⇒ méthodes virtuelles **inutiles** si :
 - aucune sous-classe
 - ou aucune redéfinition de méthode

Chapitre 3 : Gestion mémoire

Allocation mémoire

Mémoire automatique (pile/stack)

- variables **locales** et **paramètres**
- **créées** à l'**appel** de la fonction
détruites à la **sortie** de la fonction
- la variable **contient** la donnée

i 

s 

- possible pour **types de base** et **objets**
- contrairement à **Java** (que types de base)

```
void foo(bool option) {  
    int i = 0;  
    i += 10;  
    string s = "Hello";  
    s += " World";  
    s.erase(4, 1);  
    ...  
}
```

- accède aux champs de l'objet

Allocation mémoire

Mémoire globale/statique

- variables **globales** ou **static**
(dont **variables de classe**)
- existent du **début** à la **fin** du programme
- initialisées **une seule fois**
- la variable **contient** la donnée

i 

s 

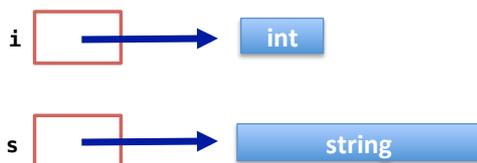
```
int glob = 0;  
static int stat = 0;  
  
void foo() {  
    static int i = 0;  
    i += 10;  
    static string s = "Hello";  
    s += "World";  
    s.erase(4, 1);  
    ...  
}
```

Que valent **i** et **s** si on appelle **foo()** deux fois ?

Allocation mémoire

Mémoire dynamique (tas/heap)

- données **créées** par **new**
détruites par **delete**
- la variable **pointe** sur la donnée



```
void foo() {  
    int * i = new int(0); ←  
    *i += 10;  
  
    string * s = new string("Hello"); ←  
    *s += " World";  
    s->erase(4, 1);  
    ...  
    delete i;  
    delete s;  
}
```

***s** est le pointé

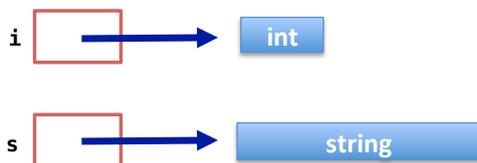
-> accède aux champs de l'objet :

$a->x == (*a).x$

Allocation mémoire

Mémoire dynamique (tas/heap)

- données **créées** par **new**
détruites par **delete**
- la variable **pointe** sur la donnée



```
void foo() {  
    int * i = new int(0);  
    *i += 10;  
  
    string * s = new string("Hello");  
    *s += " World";  
    s->erase(4, 1);  
    ...  
    delete i;  
    delete s;  
}
```

Penser à détruire les pointés !

- sinon ils existent jusqu'à la **fin du programme**
- **delete** ne détruit pas la variable mais **le pointé** !

Objets et types de base

C++

- traite les **objets** comme les **types de base**
- idem en **C** avec les **struct**
- les **constructeurs / destructeurs** sont appelés **dans tous les cas**

```
int glob = 0;
static int stat = 0;

void foo() {
    static int i = 0;
    int i = 0;
    int * i = new int(0);

    static string s = "Hello";
    string s = "Hello";
    string * s = new string("Hello");
    ...
    delete i;
    delete s;
}
```

Objets et types de base

C++

- traite les **objets** comme les **types de base**

Java

- **ne traite pas** les objets comme les types de base
- **objets toujours** créés avec **new**
- **types de base jamais** créés avec **new**
- **static** que pour **variables de classe**

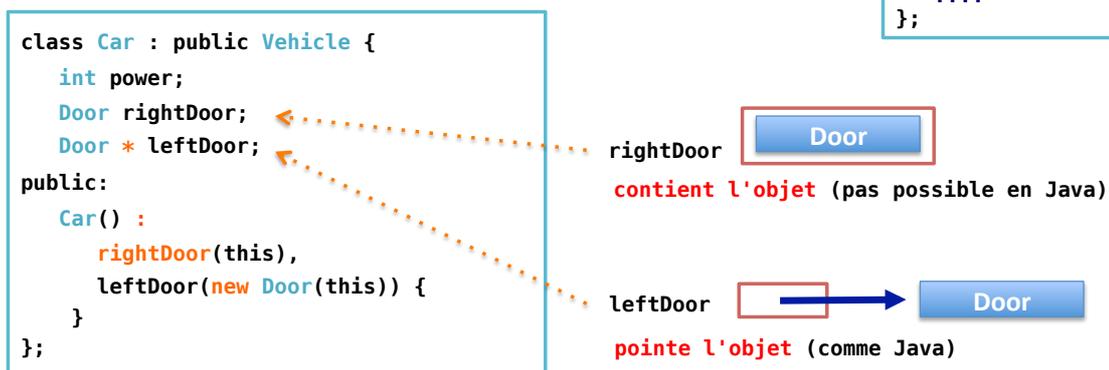
```
int glob = 0;
static int stat = 0;

void foo() {
    static int i = 0;
    int i = 0;
    int * i = new int(0);

    static string s = "Hello";
    string s = "Hello";
    string * s = new string("Hello");
    ...
    delete i;
    delete s;
}
```

```
// en Java on écrirait:
String s = new String("Hello");
String s = "Hello";
```

Objets dans des objets

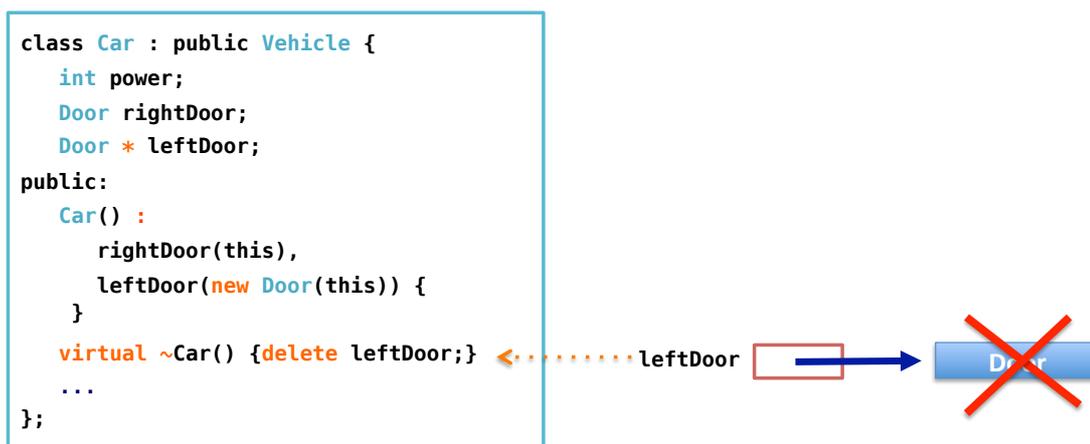


Variables d'instance **contenant** un objet (rightDoor)

- allouées, créés, détruites **en même temps** que l'objet contenant
- appel automatique des **constructeurs / destructeurs**
- pas possible en **Java**

Qu'est-ce qui manque ?

Objets dans des objets



Il faut un destructeur

- pour détruire les **pointés** créés par **new** dans le constructeur (**leftDoor**)
- par contre, les objets **contenus** dans les variables sont **autodétruits** (**rightDoor**)

Copie d'objets

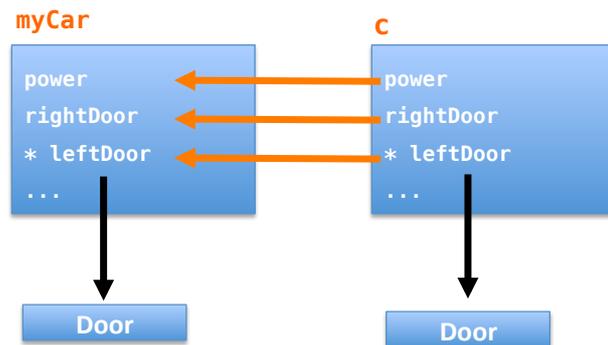
```
void foo() {  
    Car c("Smart-Fortwo", "blue");  
    Car * p = new Car("Ferrari-599-GT0", "red");  
    Car myCar;  
  
    myCar = c; // ← affectation (après la création)  
    myCar = *p; // ← initialisation (lors de la création)  
    Car mySecondCar(c); // ← initialisation (lors de la création)  
}
```

```
class Car : public Vehicle {  
    int power;  
    Door rightDoor;  
    Door * leftDoor;  
    ...  
};
```

= copie le **contenu des objets**
champ à champ (comme en C)

Noter l'* : `myCar = *p;`

Problème ?



Copie d'objets

```
void foo() {  
    Car c("Smart-Fortwo", "blue");  
    Car * p = new Car("Ferrari-599-GT0", "red");  
    Car myCar;  
  
    myCar = *p; // ← mmyCar et p ont la même porte gauche !  
    Car mySecondCar(c); // ← pareil pour mySecondCar et c !  
}
```

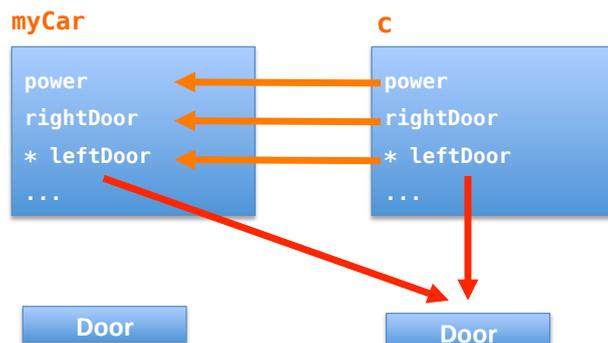
```
class Car : public Vehicle {  
    int power;  
    Door rightDoor;  
    Door * leftDoor;  
    ...  
};
```

Problème

- les pointeurs pointent sur le **même objet !**
- **pas de sens** dans ce cas !

De plus

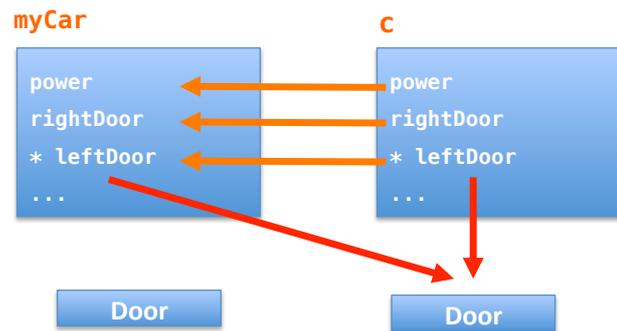
- **Door** détruit 2 fois !
=> risque de **plantage !**



Copie superficielle et copie profonde

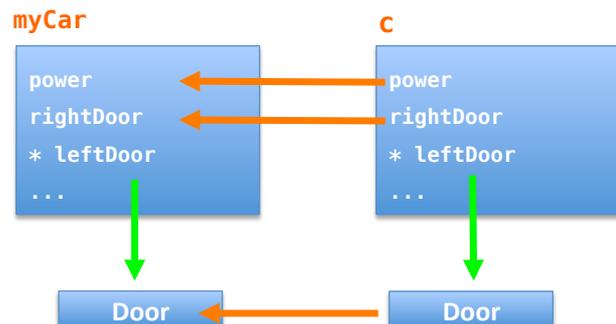
Copie superficielle (shallow)

- copie **champ à champ**
- souvent **problématique** si l'objet contient des **pointeurs**



Copie profonde (deep)

- copie les **pointés** (pas les pointeurs) et ce récursivement

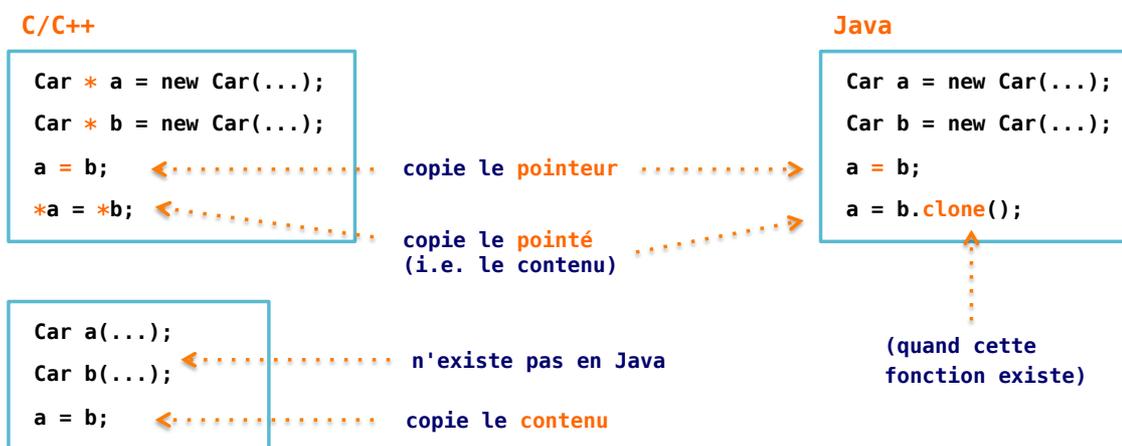


Et en java ?

Copie superficielle et copie profonde

Java

- **même problème** si l'objet contient des **références** Java
- mais **=** ne copie que les références (jamais les pointés)



Opérateurs de copie

Copy constructor et operator=

- respectivement appelés à l'**initialisation** et à l'**affectation**
- on peut les **redéfinir** pour faire de la **copie profonde**
- on peut aussi les **interdire**
- **si on change l'un il faut changer l'autre !**

```
class Car : public Vehicle {  
    ....  
    Car(const Car& from);  
    Car& operator=(const Car& from);  
};
```

copy constructor (initialisation) :
Car myThirdCar(c);

operator= (affectation) :
myCar = c;

Opérateurs de copie

Interdire le copy constructor et operator=

- interdit également la copie des sous-classes
- sauf si on redéfinit ces opérateurs pour les sous-classes

```
class Car : public Vehicle {  
    ....  
    Car(const Car& from) = delete;  
    Car& operator=(const Car& from) = delete;  
};
```

= delete
interdit l'opérateur

Opérateurs de copie

Redéfinir le copy constructor et operator=

```
class Car : public Vehicle {
    Door rightDoor;
    Door * leftDoor;
public:
    Car(const Car&);
    Car& operator=(const Car&);
    ...
};
```

```
Car::Car(const Car& from) : Vehicle(from) {
    rightDoor = from.rightDoor;

    if (from.leftDoor) leftDoor = new Door(*from.leftDoor); // crée une copie de leftDoor
    else leftDoor = nullptr;
}

Car& Car::operator=(const Car& from) {
    Vehicle::operator=(from);
    rightDoor = from.rightDoor;
    if (leftDoor && from.leftDoor) *leftDoor = *from.leftDoor; // copie leftDoor
    else {
        delete leftDoor;
        if (from.leftDoor) leftDoor = new Door(*from.leftDoor); // crée une copie de leftDoor
        else leftDoor = nullptr;
    }
    return *this;
}
```

ne pas oublier de copier les champs de Vehicle !

Tableaux

tableaux dans la pile

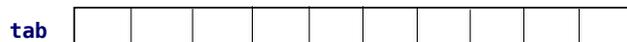
tableaux dynamiques

```
void foo() {
    int count = 10, i = 5;

    double tab1[count];
    double tab2[] = {0., 1., 2., 3., 4., 5.};
    cout << tab1[i] <<" "<< tab2[i] << endl;

    double * p1 = new double[count];
    double * p2 = new double[count](); // initialise à 0
    double * p3 = new double[count]{0., 1., 2., 3., 4., 5.}; // C++11 seulement
    cout << p1[i] <<" "<< p2[i] <<" "<< p3[i] << endl;

    delete [] p1;
    delete [] p2;
    delete [] p3;
}
```



Coût de l'allocation mémoire

Gratuit ou négligeable

- mémoire **globale/statique**
 - fait à la **compilation**
- mémoire **automatique** (pile)
 - attention : la taille de la pile est **limitée** !
- **objets dans les objets**
 - sous partie du contenant => généralement aucune allocation !

```
void foo() {  
    static Car car;  
    Car car;  
    ...  
}
```

Coût de l'allocation mémoire

Gratuit ou négligeable

- mémoire **globale/statique**
- mémoire **automatique** (pile)
- **objets dans les objets**

```
void foo() {  
    static Car car;  
    Car car;  
    ...  
}
```

Coûteux

- mémoire **dynamique** (tas) :
 - **new** en **C++** et **malloc** en **C**
 - **ramasse-miettes** en **Java**
- impact **important** sur les **performances**
 - souvent ce qui prend le **plus de temps** !
 - le ramasse-miettes **bloque** temporairement l'exécution

```
void foo() {  
    Car * s = new Car();  
    ...  
}
```

Compléments

```
bool is_valid = true;
static const char * errmsg = "Valeur invalide";

void foo() {
    is_valid = false;
    cerr << errmsg << endl;
}
```

◀..... variable globale

◀..... variable statique de fichier

En C/C++, Java, etc. il y a aussi :

La mémoire **constante** (parfois appelée **statique**)

- exple : littéraux comme "Hello Word"

Les variables **volatiles**

- empêchent optimisations du compilateur
- pour **threads** ou **entrées/sorties** selon le langage

En C/C++ il y a aussi :

Les variables **globales**

- accessibles dans toutes les fonctions de **tous les fichiers**
=> dangereuses !

Les variables **globales statiques**

- accessibles uniquement dans les fonctions **d'un fichier**

Chapitre 4 : Types, constantes et smart pointers

Types de base

Types standard

```
bool
char, wchar_t, char16_t, char32_t
short
int ←----- peuvent être
long      signed ou unsigned
long long
float
double
long double
```

- La taille dépend de la plateforme
 - char est signé ou non signé
 - entre [0, 255] ou [-128, 127] !!
- ⇒ attention à la portabilité !
- tailles dans `<climits>` et `<cfloat>`

Types normalisés <stdint>

```
int8_t      uint8_t
int16_t     uint16_t
int32_t     uint32_t
int64_t     uint64_t
intmax_t    uintmax_t
etc.
```

- Tailles normalisées

Typedef et inférence de types

typedef crée un nouveau nom de type

```
typedef Shape * ShapePtr;
typedef list<Shape *> ShapeList;
typedef bool (*compareShapes)(const Shape* s1, const Shape* s2);
```

Typedef et inférence de types

typedef crée un nouveau nom de type

```
typedef Shape * ShapePtr;  
typedef list<Shape *> ShapeList;  
typedef bool (*compareShapes)(const Shape* s1, const Shape* s2);
```

Inférence de types (C++11)

```
auto count = 10;           int cout = 10;  
auto PI = 3.1416;         double PI = 3.1416  
  
ShapeList shapes;        list<Shape*> shapes;  
auto it = shapes.begin(); list<Shape*>::iterator it = shapes.begin();
```

decltype (C++11)

```
struct Point {double x, y};  
Point * p = new Point();  
decltype(p->x) val = p->x; ← définit le type à partir  
                             de celui d'une autre variable
```

Constantes

Macros du C (obsolète)

- substitution textuelle **avant** la compilation

```
#define PORT 3000  
#define HOST "localhost"
```

Enumérations

- pour définir des **valeurs intégrales**
- commencent à **0** par défaut
- existent aussi en **Java**

```
enum {PORT = 3000};  
enum Status {OK, BAD, UNKNOWN};  
enum class Status {OK, BAD, UNKNOWN};
```

Variables **const**

- **final** en **Java**
- les **littéraux doivent** être **const**

```
const int PORT = 3000;  
const char * HOST = "localhost";
```

constexpr (C++11)

- expression calculée à la **compilation**

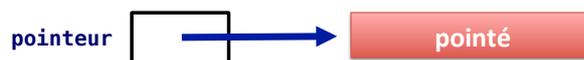
```
constexpr int PORT = 3000;  
constexpr const char * HOST = "localhost";
```

Pointeurs et pointés

Qu'est-ce qui est constant : le **pointeur** ou le **pointé** ?

const porte sur « ce qui suit »

```
// *s est constant:  
const char * s  
char const * s
```



```
// s est constant:  
char * const s
```



```
// les deux sont constants:  
const char * const s
```



Paramètres et méthodes const

```
char* strcat(char * s1, const char * s2) {  
    ....  
}
```

```
class Square {  
public:  
    int getX() const;  
    void setX(int x);  
    ....  
};
```

Paramètre **const**

- la fonction **ne peut pas modifier ce paramètre**

Méthode **const**

- la fonction **ne peut pas modifier l'objet** (i.e. ses variables d'instance)

Dans les deux cas

- ⇒ spécifie ce que la fonction a le droit de faire => **évite les erreurs !**

Copie et const

```
class Car {
    Color * color;
public:
    Color * getColor() {return color;}
    void setColor(Color * c) {color = c;}
    ....
};
```

Qui contrôle quoi ?

– la couleur **dépend** d'*autrui*

- **get** : *autrui* peut la modifier ou la détruire
- **set** : la couleur appartient à *autrui* (qui peut la **modifier** ou la **détruire**)

Copie et const

```
class Car {
    Color * color;
public:
    Color * getColor() {return color;}
    void setColor(Color * c) {color = c;}
    ....
};
```

```
class Car {
    Color * color;
public:
    const Color* getColor() const {return color;}
    void setColor(const Color * c) {
        color = new Color(*c);
    }
    ....
};
```

Qui contrôle quoi ?

– à droite : la couleur **ne dépend pas** d'*autrui*

- **get** : *autrui* **ne** peut **pas** la modifier ou la détruire
- **set** : la couleur **appartient** à l'objet (qui ne doit pas modifier celle d'*autrui*)

Objets immuables

Objets immuables

- objets que l'on **ne peut pas modifier**
- peuvent être **partagés** sans risque, ce qui **évite d'avoir à les dupliquer**

Deux techniques

- l'objet n'a **pas** de méthode permettant de le **modifier**
 - ex : **String** en **Java**
- variables **const**
 - seules les **méthodes const** peuvent être appelées

```
const Square * s = new Square(10, 10, 50);

s->setX(50);           // erreur: setX() pas const
cout << s->getX() << endl; // OK: getX() est const
```

```
class Square {
public:
    int getX() const;
    void setX(int x);
    ....
};
```

Constance logique

```
class Doc {
    string text;
    mutable Printer * printer; // peut être modifiée même si Doc est const
public:
    Doc() : printer(nullptr) {}
    void print() const {
        if (!printer) printer = new Printer(); // OK car printer est mutable
    }
    ....
};
```

Objet vu comme immuable

- l'objet n'a pas de méthode permettant de le modifier : **constance logique**

Mais qui peut modifier son état interne

- **print()** peut allouer une ressource interne : **non-constance physique**

Smart pointers

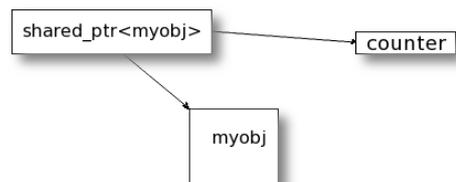
```
#include <memory>

void foo() {
    shared_ptr<Circle> p(new Circle(0, 0, 50));           // count=1
    shared_ptr<Circle> p2;
    p2 = p;                                             // p2 pointe aussi sur l'objet => count=2
    p.reset();                                         // p ne pointe plus sur rien => count=1
} // p2 est détruit => count=0 => destruction automatique de l'objet
```

shared_ptr (C++11)

– **smart pointer** avec **comptage de références**

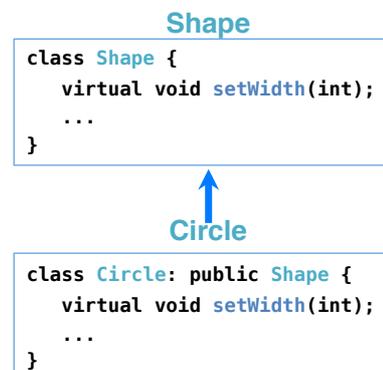
- objet **détruit** quand le compteur arrive à 0
- => mémoire gérée **automatiquement** : plus de **delete** !



Smart pointers

```
#include <memory>

void foo() {
    shared_ptr<Shape> p(new Circle(0, 0, 50));
    p->setWith(20);
}
```



S'utilisent comme des "raw pointers"

- **polymorphisme**
- déréférencement par opérateurs **->** ou ***** comme les raw pointers

Attention !

- ne marchent pas si **dépendances circulaires** entre les pointés !
- ne doivent pointer **que** sur des objets créés avec **new**
- **danger** : ne **pas** les convertir en raw pointers car on **perd le compteur** !

Smart pointers

```
#include <memory>

void foo() {
    unique_ptr<Shape> tab[10];
    tab[10] = unique_ptr<Shape>(new Circle(0, 0, 50));

    vector< unique_ptr<Shape> > vect;
    vect.push_back( unique_ptr(new Circle(0, 0, 50)) );
}
```

unique_ptr : si l'objet n'a qu'un seul pointeur

- pas de comptage de référence => moins coûteux
- utiles pour **tableaux** ou **conteneurs** pointant des objets

weak_ptr

- pointe un objet déjà pointé par un **shared_ptr** sans le "posséder"
- sert à éviter les **dépendances circulaires**

Chapitre 5 : Bases des Templates et STL

Programmation générique

```
template <typename T>
T mymax(T x, T y) {return (x > y ? x : y);}
```

```
i = mymax(4, 10);
```

←..... T déduit: **int**

```
x = mymax(66., 77.);
```

←..... T déduit: **double**

```
y = mymax<float>(66., 77.);
```

←..... T spécifié: **float**

```
string s1 = "aaa", s2 = "bbb";
```

←..... T déduit: **string**

```
s = mymax(s1, s2);
```

Templates = les types sont des paramètres

⇒ algorithmes et types **génériques**

⇒ ex: max() est **instanciée** à la **compilation**
comme si on avait défini **4 fonctions différentes**

Classes templates

```
template <typename T>
class Matrix {
public:
    void set(int i, int j, T val) { ... }
    T get(int i, int j) const { ... }
    void print() const { ... }
    ....
};
```

```
template <typename T>
Matrix<T> operator+(Matrix<T> m1, Matrix<T> m2) {
    ....
}
```

```
Matrix<float> a, b;
a.set(0, 0, 10);
a.set(0, 1, 20);
....
```

```
Matrix<float> res = a + b;
res.print();
```

```
Matrix<complex> cmat;
Matrix<string> smat; // why not?
```

appelle: operator+(a,b)

T peut être ce qu'on veut

– pourvu qu'il soit **compatible**
avec les méthodes de **Matrix**

Exemple

```
template <typename T, int L, int C>
class Matrix {
    T values[L * C];
public:
    void set(int i, int j, const T & val) {values[i * C + j] = val;}
    const T& get(int i, int j) const {return values[i * C + j];}
    void print() const {
        for (int i = 0; i < L; ++i) {
            for (int j = 0; j < C; ++j) cout << get(i,j) << " ";
            cout << endl;
        }
    }
};

template <typename T, int L, int C>
Matrix<T,L,C> operator+(const Matrix<T,L,C> & a, const Matrix<T,L,C> & b) {
    Matrix<T,L,C> res;
    for (int i = 0; i < L; ++i)
        for (int j = 0; j < C; ++j)
            res.set(i, j, a.get(i,j) + b.get(i,j));
    return res;
}
```

passage par const référence
(chapitre suivant)

NB: on verra une solution plus performante au chapitre suivant

Standard Template Library (STL)

```
std::vector<int> v(3); // vecteur de 3 entiers
v[0] = 7;
v[1] = v[0] + 3;
v[2] = v[0] + v[1];
reverse(v.begin(), v.end());
```

Conteneurs

- pour **regrouper** et **manipuler** une collection d'objets
- compatibles avec les **objets** et les **types de base**
- gèrent **automatiquement la mémoire** nécessaire à leurs éléments
 - exemples : **array**, **vector**, **list**, **map**, **set**, **deque**, **queue**, **stack** ...

Itérateurs

- pour pointer sur les éléments : ex : **begin()** et **end()**

Algorithmes

- manipulent les données des conteneurs : ex : **reverse()**

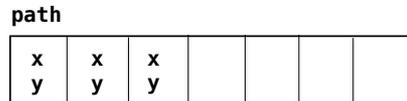
Vecteur

```
#include <vector>

struct Point {
    int x, y;
    Point(int x, int y) : x(x), y(y) {}
    void print() const;
};

void foo() {
    std::vector<Point> path;
    path.push_back(Point(20,20));
    path.push_back(Point(50,50));
    path.push_back(Point(70,70));
    for (unsigned int i=0; i < path.size(); ++i)
        path[i].print();
    path.clear();
}
```

struct == class + public:



chaque élément est un objet Point

clear() vide le conteneur

Vecteur

- accès direct aux éléments par [i] ou at(i) : at(i) vérifie l'indice, mais pas [i]
- coût élevé d'insertion / suppression

Liste et itérateurs

```
#include <list>

void foo() {
    std::list<Point*> path;
    path.push_back(new Point(20,20));
    path.push_back(new Point(50,50));
    path.push_back(new Point(70,70));
    for (auto it : path) it->print();
}
```

liste de pointeurs d'où les new

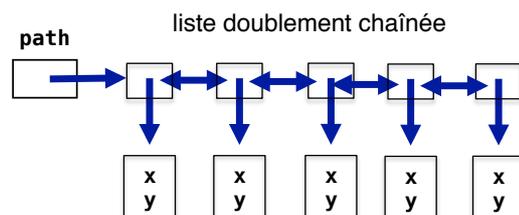
auto et for(:) en C++11

Liste

- pas d'accès direct aux éléments
- faible coût d'insertion / suppression

Note

- cette liste pointe sur les objets
- elle pourrait aussi les contenir



Liste et itérateurs : avant C++11

```
#include <list>

void foo() {
    std::list<Point *> path;
    path.push_back(new Point(20,20));
    path.push_back(new Point(50,50));
    path.push_back(new Point(70,70));

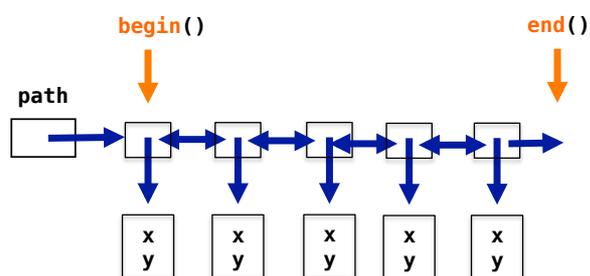
    for (auto it : path) it->print();

    for (std::list<Point*>::iterator it = path.begin(); it != path.end(); ++it) {
        (*it)->print();
    }
}
```

parenthèses nécessaires

ancienne syntaxe

Problème ?



Conteneurs pointant des objets

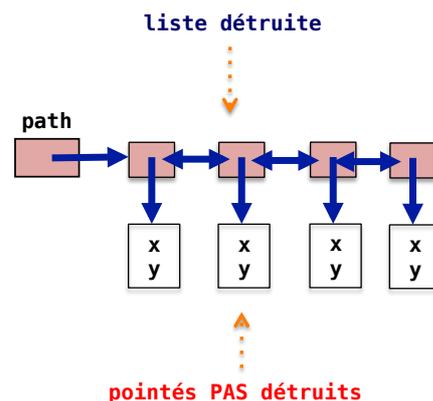
```
#include <list>

void foo() {
    std::list<Point *> path;
    path.push_back(new Point(20,20));
    path.push_back(new Point(50,50));
    path.push_back(new Point(70,70));

    for (auto it : path) it->print();
}
```

Cette liste pointe sur les objets

- la liste est détruite car path est dans la pile
- mais pas les pointés !!



Solutions

```
void foo() {  
    std::list<Point *> path;  
    path.push_back(new Point(20,20));  
    ....  
    for (auto & it : path) it->print();  
    for (auto & it : path) delete it;  
}
```

1) Détruire les pointés

le & optimise (optionnel)

delete détruit le pointé

Solutions

```
void foo() {  
    std::list<Point *> path;  
    path.push_back(new Point(20,20));  
    ....  
    for (auto & it : path) it->print();  
    for (auto & it : path) delete it;  
}
```

1) Détruire les pointés

delete détruit le pointé

```
void foo() {  
    std::list<shared_ptr<Point>> path;  
    path.push_back(make_shared<Point>(20,20));  
    ....  
    for (auto & it : path) it->print();  
}
```

2) Smart pointers

PAS de delete !

crée un objet dans le tas pointé par un smart pointer (appelle new)

on peut utiliser unique_ptr<> si l'objet n'est pas partagé

Solutions

```
void foo() {  
    std::list<Point *> path;  
    path.push_back(new Point(20,20));  
    ....  
    for (auto & it : path) it->print();  
    for (auto & it : path) delete it;  
}
```

1) Détruire les pointés

← delete détruit le pointé

```
void foo() {  
    std::list<shared_ptr<Point>> path;  
    path.push_back(make_shared<Point>(20,20));  
    ....  
    for (auto & it : path) it->print();  
}
```

2) Smart pointers

← PAS de delete !

```
void foo() {  
    std::list<Point> path;  
    path.push_back(Point(20,20));  
    ....  
    for (auto & it : path) it.print();  
}
```

3) Contenir les objets

← PAS de delete ! Noter le .

Conteneurs contenant des objets

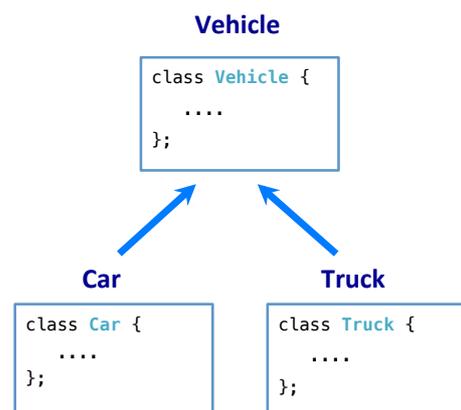
```
std::list<Point> path;
```

OUI

```
std::list<Vehicle> vehicles;
```

NON

Problème ?



Conteneurs contenant des objets

```
std::list<Point> path;
```

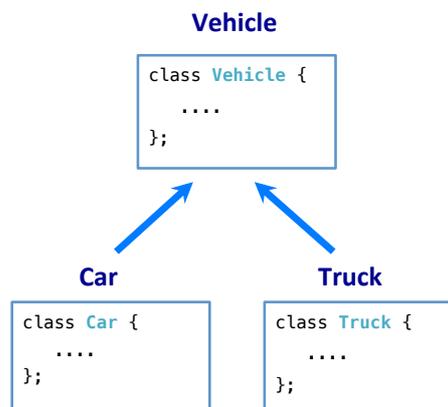
OUI

```
std::list<Vehicle> vehicles;
```

NON

```
std::list<Vehicle *> vehicles;
```

OUI



Polymorphisme !

- plusieurs types d'objets (`Vehicle`, `Car`, `Truck`...) => forcément des **pointeurs**
- en **Java** on n'a pas le choix : c'est **toujours** le cas !

Deque ("deck")

```
#include <deque>

void foo() {
    std::deque<Point> path;
    path.push_back(Point(20, 20));
    path.push_back(Point(50, 50));
    path.push_back(Point(70, 70));

    for (auto & it : path) it.print();
    for (unsigned int i=0; i < path.size(); ++i) path[i].print();
}
```

Deque

- mélange de **liste** et de **vecteur** :
 - **accès direct** aux éléments par `[i]` ou `at(i)`
 - **faible coût** d'insertion / suppression
- mais **plus coûteux** en **mémoire**

Enlever des éléments

Enlever les éléments à une position ou un intervalle

```
std::vector<int> v{0, 1, 2, 3, 4, 5};  
v.erase(v.begin()+1);           // enlève v[1]  
v.erase(v.begin(), v.begin()+3); // enlève v[0] à v[2]
```

```
std::list<int> l{0, 1, 2, 3, 4, 5};  
auto it = l.begin(); ++it;  
l.erase(it);                     // enlève l(1)  
  
l = {0, 1, 2, 3, 4, 5};  
it = l.begin(); std::advance(it, 3);  
l.erase(it);                     // enlève l(3)  
  
l = {0, 1, 2, 3, 4, 5};  
it = l.begin(); std::advance(it, 3);  
l.erase(l.begin(), it);         // enlève l(0) à l(2)
```

Enlever des éléments

Enlever les éléments ayant une certaine valeur

```
std::vector<int> v{0, 1, 2, 1, 2, 1, 2};  
v.erase(std::remove(v.begin(), v.end(), 2), v.end()); // enlève tous les 2
```

```
std::list<int> l{0, 1, 2, 1, 2, 1, 2};  
l.remove(2); // enlève tous les 2
```

Enlever les éléments vérifiant une condition

```
bool is_odd(const int & value) {return (value%2) == 1;}  
  
std::list<int> l{0, 1, 2, 1, 2, 1, 2};  
l.remove_if(is_odd); // enlève tous les nombres impairs
```

Enlever plusieurs éléments dans une liste

```
std::list<Point> path;
int value = 200; // détruire les points dont x vaut 200

for (auto it = path.begin(); it != path.end(); ) {
    if ((*it)->x != value) it++;
    else {
        auto it2 = it;
        ++it2;
        delete *it; // détruit l'objet pointé par l'itérateur
        path.erase(it); // it est invalide après erase()
        it = it2;
    }
}
```

Attention

- l'itérateur `it` est **invalide** après `erase()`
=> second itérateur `it2`

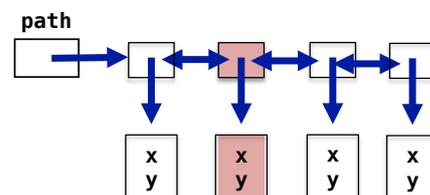


Table associative (map)

```
#include <iostream>
#include <map>

typedef std::map<string, User*> Dict;

void foo() {
    Dict dict;
    dict["Dupont"] = new User("Dupont", 666); // ajout
    dict["Einstein"] = new User("Einstein", 314);

    auto it = dict.find("Dupont"); // recherche
    if (it == dict.end()) std::cout << "pas trouvé" << std::cout;
    else std::cout << "id: " << it->second->getID() << std::cout;
}
```

```
class User {
    string name,
    int id;
public:
    User(const string& name, int id);
    int getID() const {return id;}
}; ....
```

Note

- on pourrait aussi utiliser **set**

Algorithmes exemple : trier les éléments d'un conteneur

```
#include <string>
#include <vector>
#include <algorithm>

class User {
    string name;
public:
    User(const string & name) : name(name) {}
    friend bool compareEntries(const User &, const User &);
};

// inline nécessaire si la fonction est définie dans un header
inline bool compareEntries(const User & e1, const User & e2) {
    return e1.name < e2.name;
}

void foo() {
    std::vector<User> entries;
    ....
    std::sort(entries.begin(), entries.end(), compareEntries);
    ....
}
```

Template metaprogramming

```
template <int N> struct Factorial {
    static const int value = N * Factorial<N-1>::value;
};

template <> struct Factorial<0> {
    static const int value = 1;
};

void foo() {
    int x = Factorial<4>::value; // vaut 24
    int y = Factorial<0>::value; // vaut 1
}
```

calculé factorielle à la compilation !

spécialisation de template

appel récursif

Programme qui génère un programme

- la valeur est calculée à la **compilation** par instantiation **récursive** de templates
- **spécialisation** = définition de **cas spécifiques** (ici l'appel terminal)

Polymorphisme paramétré

Comment avoir une fonction print() générique ?

```
void foo() {  
    print(55);  
  
    string s = "toto";  
    print(s);  
  
    Point p(10,20);  
    print(p);  
  
    std::vector<int> vi{0, 1, 2, 3, 4, 5};  
    print(vi);  
  
    std::vector<Point> vp{{0, 1},{2, 3},{4, 5}};  
    print(vp);  
  
    std::list<Point> lp{{0, 1},{2, 3},{4, 5}};  
    print(lp);  
}
```

Polymorphisme paramétré

spécialisation>
pour Point

```
void foo() {  
    print(55);  
    string s = "toto";  
    print(s);  
    Point p(10,20);  
    print(p);  
    std::vector<int> vi{0, 1, 2, 3, 4, 5};  
    print(vi);  
    std::vector<Point> vp{{0, 1},{2, 3},{4, 5}};  
    print(vp);  
    std::list<Point> lp{{0, 1},{2, 3},{4, 5}};  
    print(lp);  
}
```

```
template <typename T> void print(const T & arg) {  
    cout << arg << endl;  
}  
  
template <> void print(const Point & arg) {  
    cout << "{" << arg.x << "," << arg.y << "}" << endl;  
}  
  
template <typename T> void print(const std::vector<T> & arg) {  
    for (auto & it : arg) print(it);  
}  
  
template <typename T> void print(const std::list<T> & arg) {  
    for (auto & it : arg) print(it);  
}
```

print() est générique

- définitions **spécifiques** et **par défaut**
- **polymorphisme** à la **compilation**

Amélioration: une seule définition pour **tous** les conteneurs :

=> comment les **détecter** ?

Traits <type_traits>

```
is_array<T>
is_class<T>
is_enum<T>
is_floating_point<T>
is_function<T>
is_integral<T>
is_pointer<T>
is_arithmetic<T>

is_object<T>
is_abstract<T>
is_polymorphic<T>
is_base_of<Base,Derived>
is_same<T,V>
etc.
```

Informations sur le **type** à la compilation :

```
void foo() {
    cout << is_integral<int>::value << endl;    // true
    cout << is_integral<float>::value << endl;  // false
    cout << is_class<int>::value << endl;      // false
    cout << is_class<Point>::value << endl;    // true
}
```

il n'y a pas
is_container !
on va le faire !

Traits

```
template <typename T> struct is_container {
    static const bool value = false;
};

template <typename T> struct is_container<std::vector<T>> {
    static const bool value = true;
};

template <typename T> struct is_container<std::list<T>> {
    static const bool value = true;
};

template <typename T> struct is_container<std::deque<T>> {
    static const bool value = true;
};
```

On peut détecter les **conteneurs** à la compilation :

```
void foo() {
    cout << is_container<int>::value << endl;    // false
    cout << is_container<vector<int>>::value << endl; // true
    cout << is_container<list<int>>::value << endl; // true
}
```

Calcul sur les types

```
template <typename T> void print(const T& arg,  
                                typename std::enable_if<!is_container<T>::value, bool>::type b = true){  
    cout << arg << endl;  
}  
  
template <typename T> void print(const T& arg,  
                                typename std::enable_if<is_container<T>::value, bool>::type b = true){  
    for (auto & it : arg) print(it);  
}  
  
template <> void print(const Point & arg) {  
    cout << "{" << arg.x << "," << arg.y << "}" << endl;  
}
```

Conditions sur les types

- suivant le **type** on fait des actions différentes :
 - pour **tous** les **conteneurs**
 - pour **Point**
 - pour le reste

enable_if valide ou invalide
selon la **value** de **is_container<>**

Templates C++ vs. Generics Java

```
template <typename T>  
T max(T x, T y) {return (x > y ? x : y);}  
  
i = max(4, 10);  
x = max(6666., 7777.);
```

Templates C++

- **instanciation** à la **compilation** => **optimisation** selon les types effectifs
- **puissants** (Turing complets) ... mais pas très lisibles !

Generics Java

- **sémantique** et **implémentation** différentes :
 - pas de **types de base**
 - pas **instanciés** à la compilation (moins efficaces en CPU mais moins de mémoire)
 - pas de **spécialisation**
 - pas de **traitements sur les types** (ils sont « effacés »)

Chapitre 6 :

Passage par valeur et par référence

Passer des valeurs à une fonction

```
class Truc { C++  
    void print(int n, const string * p) {  
        cout << n << " " << *p << endl;  
    }  
  
    void foo() {  
        int i = 10;  
        string * s = new string("YES");  
        print(i, s);  
    }  
    ...  
};
```

```
class Truc { Java  
    void print(int n, String p) {  
        System.out.println(n + " " + p);  
    }  
  
    void foo() {  
        int i = 10;  
        String s = new String("YES");  
        print(i, s);  
    }  
    ...  
};
```

Quelle est la relation

- entre les **arguments** (*i, s*) passés à la méthode **print()**
- et ses **paramètres formels** (*n, p*)



Passer des valeurs à une fonction

```
class Truc {
    void print(int n, const string * p) {
        cout << n << " " << *p << endl;
    }

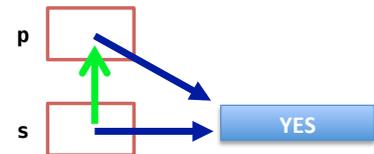
    void foo() {
        int i = 10;
        string * s = new string("YES");
        print(i, s);
    }
    ...
};
```

C++

```
class Truc {
    void print(int n, String p) {
        System.out.println(n + " " + p);
    }

    void foo() {
        int i = 10;
        String s = new String("YES");
        print(i, s);
    }
    ...
}
```

Java



Passage par valeur

- la **valeur** de l'argument est **recopiée** dans le paramètre
 - le pointeur **s** est copié dans le pointeur **p** (le **pointé** n'est pas copié !)
 - les références **Java** se comportent comme des **pointeurs**

Passer des valeurs à une fonction

```
class Truc {
    void print(int n, const string * p) {
        cout << n << " " << *p << endl;
    }

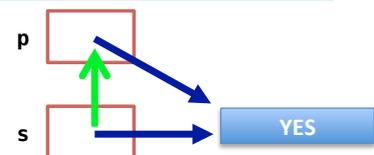
    void foo() {
        int i = 10;
        string * s = new string("YES");
        print(i, s);
    }
    ...
};
```

C++

```
class Truc {
    void print(int n, String p) {
        System.out.println(n + " " + p);
    }

    void foo() {
        int i = 10;
        String s = new String("YES");
        print(i, s);
    }
    ...
}
```

Java



Passage par valeur

- la **valeur** de l'argument est **recopiée** dans le paramètre
- Attention : copie dans **un seul sens** !

Passer des valeurs à une fonction

```
class Truc { C++  
  void print(int n, const string * p) {  
    cout << n << " " << *p << endl;  
  }  
  ...  
};
```

```
class Truc { Java  
  void print(int n, String p) {  
    System.out.println(n + " " + p);  
  }  
  ...  
}
```

NB #1 : Pourquoi **const** ?

Passer des valeurs à une fonction

```
class Truc { C++  
  void print(int n, const string * p) {  
    cout << n << " " << *p << endl;  
  }  
  ...  
};
```

```
class Truc { Java  
  void print(int n, String p) {  
    System.out.println(n + " " + p);  
  }  
  ...  
}
```

NB #1 : Pourquoi **const** ?

- `print()` ne doit pas changer le **pointé *p**
 - en **C/C++** : **const * p**
 - en **Java** : **String** est **immutable** (ne peut pas changer)

Passer des valeurs à une fonction

```
class Truc { C++
  void print(int n, string p) {
    cout << n << " " << p << endl;
  }

  void foo() {
    int i = 10;
    string s("YES");
    print(i, s);
  }
  ...
};
```

```
class Truc { Java
  void print(int n, String p) {
    System.out.println(n + " " + p);
  }

  void foo() {
    int i = 10;
    String s = new String("YES");
    print(i, s);
  }
  ...
}
```

NB #2 : Si l'argument contient l'objet

- C/C++ : l'objet (ou la struct) est **recopié** dans le paramètre
=> problématique pour les **gros objets** comme les **conteneurs** !
- Java : impossible : **références** ~ **pointeurs** => objet jamais recopié

Récupérer des valeurs d'une fonction

```
class Truc { C++
  void get(int n, const string * p) {
    n = 20;
    p = new string("NO");
  }

  void foo() {
    int i = 10;
    string * s = new string("YES");
    get(i, s);
    cout << i << " " << *s << endl;
  }
  ...
};
```

```
class Truc { Java
  void get(int n, String p) {
    n = 20;
    p = new String("NO");
  }

  void foo() {
    int i = 10;
    String s = new String("YES");
    get(i, s);
    System.out.println(i + " " + s);
  }
  ...
}
```

Résultat

- 10 YES
- 20 NO



Récupérer des valeurs d'une fonction

```
class Truc {
void get(int n, const string * p) {
    n = 20;
    p = new string("NO");
}

void foo(){
    int i = 10;
    string * s = new string("YES");
    get(i, s);
    cout << i << " " << *s << endl;
}
...
};
```

C++

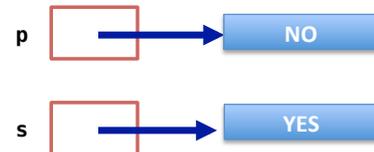
```
class Truc {
void get(int n, String p) {
    n = 20;
    p = new String("NO");
}

void foo(){
    int i = 10;
    String s = new String("YES");
    get(i, s);
    System.out.println(i + " " + s);
}
...
};
```

Java

Résultat : 10 YES

- passage par valeur => arguments inchangés (copie dans un seul sens)



Que faire ?

Récupérer des valeurs d'une fonction

```
class Truc {
void get(int &n, string * &p) {
    n = 20;
    p = new string("NO");
}

void foo(){
    int i = 10;
    string * s = new string("YES");
    get(i, s);
    cout << i << " " << *s << endl;
}
...
};
```

C++

& : passage par référence

affiche: 20 NO

Passage par référence (&)

- le paramètre est un alias de l'argument:
=> si on change l'un on change l'autre



Comment faire en Java ?

Récupérer des valeurs d'une fonction

LE PASSAGE PAR REFERENCE N'EXISTE PAS EN JAVA

En Java les références et types de base sont passées par **VALEUR**

Le passage par référence (ou similaire) existe dans d'autres langages :
C#, Pascal, Ada, etc.

Comment faire en Java ?

Récupérer des valeurs d'une fonction

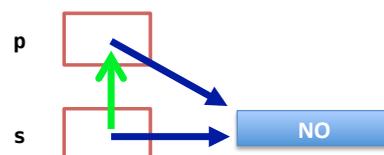
```
class Truc {
    void get(int * n, string * p) {
        *n = 20;
        *p = "NO";
    }
    void foo() {
        int i = 10;
        string * s = new string("YES");
        get(&i, s);
        cout << i << " " << *s << endl;
    }
    ...
};
```

C++

modifier les pointés

```
class Truc {
    void get(StringBuffer p) {
        p.replace(0, p.length(), "NO");
    }
    void foo() {
        StringBuffer s = new StringBuffer("YES");
        get(s);
        System.out.println(i + " " + s);
    }
    ...
}
```

Java



Solution : modifier les pointés

En **Java** : seulement avec les **objets mutables**

pas possible avec les types de base !

Passage des objets en C++

```
class Truc { C++
  void print(int n, string p) {
    cout << n << " " << p << endl;
  }

  void foo() {
    int i = 10;
    string s("YES");
    print(i, s);
  }
  ...
};
```

Rappel : si l'argument **contient** l'objet il est copié dans le paramètre

- comment faire pour éviter cette copie inutile ?

Passage par const référence

```
class Truc { C++
  void print(int n, const string & p) {
    cout << n << " " << p << endl;
  }

  void foo() {
    int i = 10;
    string s("YES");
    print(i, s);
  }
  ...
};
```

Evite une copie des gros arguments

- inutile pour les **types de base**
- indispensable pour les **conteneurs** !

Retour par const référence

```
class Truc { C++
  string name_;
  const string & name() const {
    return name_;
  }
  void foo() {
    string s = name(); // OK
    string & s = name(); // INTERDIT !
    ...
  }
  ...
};
```

ne compile pas
permettrait de modifier name_
romprait l'encapsulation !

Permet d'accéder aux variables d'instance en lecture

- sans les recopier
- sans risquer de les modifier

Références C++

Ce sont des alias :

- doivent être **initialisées** : référencent toujours **la même entité**
- pas de calcul d'adresses dangereux (contrairement aux pointeurs)

```
Circle c;  
Circle & ref = c; // ref sera toujours un alias de c
```

C'est l'objet référencé qui est copié :

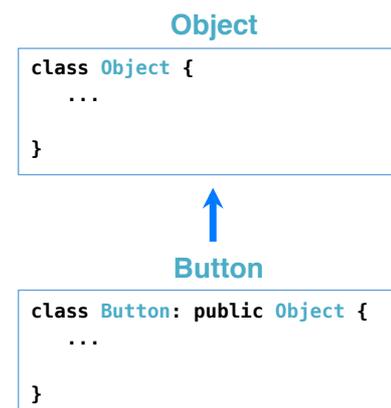
```
Circle c1, c2;  
c1 = c2; // copie le contenu de c2 dans c1  
  
Circle & r1 = c1;  
Circle & r2 = c2;  
  
r1 = r2; // copie le contenu de c2 dans c1
```

Chapitre 7 : Compléments

Transtypage vers les superclasses

```
class Object {
    ...
};
class Button : public Object {
    ...
};

void foo() {
    Object * obj = new Object();
    Button * but = new Button();
    obj = but;           // correct?
    but = obj;          // correct?
}
```



Rappel : Correct ?

Transtypage vers les superclasses

```
class Object {
    ...
};

class Button : public Object {
    ...
};

void foo() {
    Object * obj = new Object();
    Button * but = new Button();
    obj = but; <----- OK: upcasting
    but = obj; <----- erreur de compilation:
                    un Object n'est pas un Button
}
```

Tous les *cèpes* (délicieux) sont des *bolets*, mais tous les *bolets* ne sont pas des *cèpes*.

OK: upcasting
erreur de compilation:
un Object n'est pas un Button

Rappel : Héritage

- transtypage **implicite** vers les **super-classes** (**upcasting**)
- mais **pas** vers les **sous-classes** (**downcasting**)

Transtypage vers les sous-classes

```
class Object {
    // pas de méthode draw()
    ...
};

class Button : public Object {
    virtual void draw();
    ...
};

void foo(Object * obj) {
    obj->draw(); // correct ?
}

void bar() {
    foo(new Button());
}
```

Object

```
class Object {
    ...
}
```



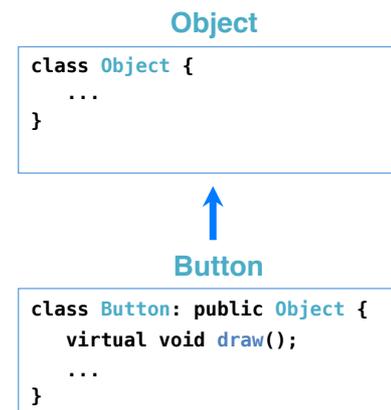
Button

```
class Button: public Object {
    virtual void draw();
    ...
}
```

Correct ?

Transtypage vers les sous-classes

```
class Object {  
    // pas de methode draw()  
    ...  
};  
  
class Button : public Object {  
    virtual void draw();  
    ...  
};  
  
void foo(Object * obj) {  
    obj->draw();  
}  
  
void bar() {  
    foo(new Button());  
}
```



erreur de compilation: draw()
pas une méthode de Object

Que faire ?

- si on ne peut pas modifier **Object** ni la signature de **foo()**
 - par ex, s'ils sont imposés par une bibliothèque

Transtypage vers les sous-classes

```
class Object {  
    ...  
};  
  
class Button : public Object {  
    virtual void draw();  
    ...  
};  
  
void foo(Object * obj) {  
    Button * b = (Button *) obj;  
    b->draw();  
}  
  
void bar() {  
    foo(new Button());  
}
```

cast du C : DANGEREUX !

Mauvaise solution !!!

trompe le compilateur => **plante** si **obj** n'est pas un **Obj** !!!

=> JAMAIS de casts du C en C++ !!!

Transtypage dynamique

```
class Object {
    ...
};

class Button : public Object {
    virtual void draw();
    ...
};

void foo(Object * obj) {
    Button * b = dynamic_cast<Button*>(obj);
    if (b) b->draw();
}

void bar() {
    foo(new Button());
}
```

renvoie null si ce n'est pas un Button

Bonne solution

- **contrôle dynamique** du type à l'exécution
- **Java** : tester avec **instanceof**, puis faire un **cast** (ou cast + vérifier exceptions)

Opérateurs de transtypage

dynamic_cast<Type>(b)

- vérification du type à l'exécution : opérateur sûr

static_cast<Type>(b)

- conversions de types "raisonnables" : à utiliser avec prudence

reinterpret_cast<Type>(b)

- conversions de types "radicales" : à utiliser avec encore plus de prudence !

const_cast<Type>(b)

- pour enlever ou rajouter const

(Type) b : cast du C : à éviter !!!!

Note : il y a des opérateurs spécifiques pour les **shared_ptr** (voir la doc)

RTTI (typeid)

```
#include <typeinfo>

void printClassName(Shape * p) {
    cout << typeid(*p).name() << endl;
}
```

Retourne de l'information sur le type

- généralement **encodé** (mangled)

Types incomplets et handle classes

```
#include <Widget>

class Button : public Widget {
public:
    Button(const string& name);
    void mousePressed(Event& event);
    ....
private:
    ButtonImpl * impl;
};
```

header `Button.h`

Handle class : cacher l'implémentation

- implémentation **cachée** dans `ButtonImpl`
 - `ButtonImpl` déclarée dans **header privé** `ButtonImpl.h` pas donné au client

Références à des objets non déclarés

- `mousePressed()` dépend d'une classe `MouseEvent` déclarée ailleurs

Types incomplets

```
#include <Widget>

class Button : public Widget {
public:
    Button(const string& name);
    void mousePressed(Event& event);
    ....
private:
    ButtonImpl * impl;
};
```

header Button.h

Problème

- erreur de compilation: `ButtonImpl` et `MouseEvent` sont inconnus !

Solution ?

Types incomplets

```
#include <Widget>
#include <Event.h>
#include "ButtonImpl.h"

class Button : public Widget {
public:
    Button(const string& name);
    void mousePressed(Event& event);
    ....
private:
    ButtonImpl * impl;
};
```

header Button.h

Mauvaise solution

- 1) L'implémentation n'est plus cachée :
 - il faut donner `ButtonImpl.h` au client !
- 2) Références externes :
 - il faut inclure plein de headers qui s'incluent les uns dans les autres !

Types incomplets

```
#include <Widget>
class Event;
class ButtonImpl;

class Button : public Widget {
public:
    Button(const string& name);
    void mousePressed(Event& event);
    ....
private:
    ButtonImpl * impl;
};
```

header Button.h

Bonne solution

- déclare l'**existence** d'une classe sans avoir à spécifier son **contenu** (même chose en **C** avec les **struct**)
- les variables (**event**, **impl**) doivent être des **pointeurs** ou des **références**

Pointeurs de fonctions, foncteurs et lambdas

Problème

- faire exécuter une fonction par une **autre** fonction
- exemples :
 - **fonctions de callback** des toolkits graphiques
 - rechercher **avec des critères** dans une base de données

```
void doIt(Event& event) {
    ....
}

void foo() {
    Button * btn = new Button("OK");
    btn->addCallback(doIt);
}
```

```
class Data {
    string firstName, lastName;
    int id, age;
}; ....

class DataBase {
public:
    Data* search(????(const Data&));
}; ....
```

```
void foo() {
    DataBase * base = ...;
    Data * elem = base.search(?? age > 10 ??);
    ...
}
```

comment écrire cela ?

Pointeurs de fonctions, foncteurs et lambdas

Solutions

- **pointeurs de fonctions** et de **méthodes**
- pointeurs de fonctions **généralisés**
- **foncteurs**
- **lambdas**

```
void doIt(Event& e) {  
    ....  
}  
  
void foo() {  
    Button * btn = new Button("OK");  
    btn->addCallback(doIt);  
}
```

```
class Data {  
    string firstName, lastName;  
    int id, age;  
}; ....  
  
class DataBase {  
public:  
    Data* search(????(const Data&));  
}; ....
```

```
void foo() {  
    DataBase * base = ...;  
    Data * elem = base.search(?? age > 10 ??);  
    ...  
}
```

comment écrire cela ?

Pointeurs de fonctions et de méthodes

Pointeur de fonction

```
void doIt(Event& e) {  
    ....  
}  
  
void foo() {  
    Button * btn = new Button("OK");  
    btn->addCallback(doIt);  
}
```

```
class Button : public Widget {  
public:  
    void addCallback( void(*fun)(Event& ) );  
}; ....
```

pointeur de fonction
noter l'étoile

Limitation des pointeurs de fonctions

- fonction **non membre** : **pas d'accès** aux objets et à leurs variables
 - à moins d'utiliser des variables globales (= BAD 🙄)

Note

- existe en **C** mais pas en **Java**

Pointeurs de fonctions et de méthodes

Pointeur de fonction

```
void doIt(Event& e) {
    ....
}

void foo() {
    Button * btn = new Button("OK");
    btn->addCallback(doIt);
}
```

```
class Button : public Widget {
public:
    void addCallback( void(*fun)(Event& ) );
    ....
};
```

Pointeur de méthode

```
class Truc {
    int x, y, z;
public:
    void doIt(Event& e) {
        ....
    }
};

void foo() {
    Truc * truc = new Truc();
    Button * btn = new Button("OK");
    btn->addCallback(truc, &Truc::doIt);
}
```

```
class Button : public Widget {
public:
    void addCallback(Truc* obj,
                    void(Truc::*fun)(Event&));
    ....
};
```

pointeur de méthode
noter l'étoile

il faut un &

178

Pointeurs de méthodes

Implémentation

```
class Truc {
    int x, y, z;
public:
    void doIt(Event& e) {
        ....
    }
};

void foo() {
    Truc * truc = new Truc();
    Button * btn = new Button("OK");
    btn->addCallback(truc, &Truc::doIt);
}
```

```
class Button : public Widget {
public:
    void addCallback(Truc* obj,
                    void(Truc::*fun)(Event&)){
        obj_ = obj;
        fun_ = fun;
    }

protected:
    Truc * obj_ = nullptr;
    void(Truc::*fun_)(Event&) = nullptr;

    void callCallback(int x, int y) {
        Event e(x,y);
        if (fun_) (obj_ -> *fun_)(e);
    }
};
```

initialiser !!!

noter l'étoile

Foncteurs et lambdas

Limitation des pointeurs de méthodes

- addCallback() **dépend** de la classe **Truc**
- pratique mais **pas générique !**

```
class Button : public Widget {
public:
    void addCallback(Truc* truc,
                    void(Truc::*fun)(Event&));
    ....
};
```

Solutions

- templates (voir serveur du TP)
- pointeurs de fonctions **génériques**
- **foncteurs**
- **lambdas**

Foncteurs

Foncteur

- l'**objet** est considéré comme une **fonction**
- plus besoin de passer l'objet en argument !
- il suffit de définir **operator()**

```
class Truc {
    int x, y, z;
public:
    void operator()(Event&) {
        ....
    }
};

void foo() {
    Truc * truc = new Truc();
    Button * btn = new Button("OK");
    btn->addCallback(*truc);
}
```

Foncteurs

Pointeurs de fonctions généralisés

- peuvent pointer n'importe quel type de fonction ou de méthode

```
class Truc {
    int x, y, z;
public:
    void operator()(Event&) {
        ....
    }
};

void foo() {
    Truc * truc = new Truc();
    Button * btn = new Button("OK");
    btn->addCallback(*truc);
}
```

```
class Button : public Widget {
public:
    void addCallback(std::function< void(Event&) > fun) {
        fun_ = fun;
    }
protected:
    std::function< void(Event&) > fun_ = nullptr;
    void callCallback(int x, int y) {
        Event e(x, y);
        if (fun_) (fun_)(e);
    }
    ....
};
```

pointeur de fonction
généralisé (C++11)

Lambdas

```
class Data {
public:
    string firstName, lastName;
    int id, age;
    ....
};

using Datas = std::list< Data* >;

class DataBase {
public:
    Datas search(std::function< bool(const Data&) > test) const;
    ....
};
```

test = fonction de test
appelée par search()

search retourne les datas qui vérifient un test

But

- rechercher les données de la base qui vérifient **certaines critères**
 - test() renvoie true quand un Data verifie les critères
 - search() renvoie tous les Data qui vérifient les critères

Lambdas et capture de variables

```
class Data {
public:
    string firstName, lastName;
    int id, age;
    ....
};

using Datas = std::list< Data* >;

class DataBase {
public:
    Datas search(std::function< bool(const Data&) > test) const;
    ....
};
```

```
void foo(const DataBase& base) {
    int age = 10;
    Datas res = base.search( [age](const Data& d) {return d.age > age;} );
}
```

d est fourni
par search()

↑
Lambda qui capture age

Lambdas et capture de variables

Lambdas = fonctions anonymes qui capturent les variables

- la variable **age** de **foo()** est **capturée** par la lambda
- simplifient considérablement le code !
- existent aussi en **Java 8**, **Python** ...

```
void foo(const DataBase& base) {
    int age = 10;
    Datas res = base.search( [age](const Data& d) {return d.age > age;} );
}
```

Options

- **[age]** : capture **age** par **valeur** (age est copié)
- **[=]** : capture **tout** par **valeur** (y compris **this** dans un objet)
- **[&]** : capture **tout** par **référence** (pour **modifier** les variables)
- **[]** : capture **rien**
- type de retour **implicite** par défaut
sinon écrire :

```
[age](const Data& d) -> bool {return d.age > age;}
```

Surcharge des opérateurs

```
#include <string>

string s = "La tour";
s = s + " Eiffel";
s += " est bleue";
```

```
class string {
    friend string operator+(const string&, const char*);
    string& operator+=(const char*);
    ....
};
```

Possible pour presque tous les opérateurs

= == < > + - * / ++ -- += -= -> () [] new delete mais pas :: . .* ?

la priorité est inchangée

A utiliser avec discernement

– peut rendre le code incompréhensible !

Existe dans divers langages (C#, Python, Ada...)

– mais pas en Java

Surcharge des opérateurs

operator[]

operator()

– foncteurs

operator-> et operator*

– redéfinissent le déréférencement

operator++

Conversion de types

Opérateurs new , delete , new[], delete[]

– changent l'allocation mémoire

– **exceptionnellement** : pour gestion mémoire non standard (exple : embarqué)

```
#include <vector>

vector tab(3);
tab[0] = tab[1] + tab[2];
```

```
class Integer {
    Integer& operator++(); // prefixe
    Integer operator++(int); // postfixe
};
```

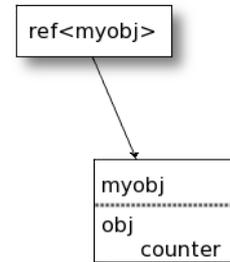
```
class String {
    operator char*() const {return c_s;}
    ....
};
```

Exemple : smart pointers intrusifs

```
class Shape {
public:
    Shape() : counter(0) {}
private:
    long counter;
    friend void intrusive_ptr_add_ref(Pointable* p);
    friend void intrusive_ptr_release(Pointable* p);
    friend long intrusive_ptr_get_count(Pointable* p);
};

inline void intrusive_ptr_add_ref(Shape* p) {
    ++(p->counter);
}

inline void intrusive_ptr_release(Shape* p) {
    if (--(p->counter) == 0) delete p;
}
```



Principe

- la classe de base possède un compteur de références
- les smart pointers détectent les affectations et modifient le compteur

Exemple : smart pointers intrusifs

```
template <class T>
class intrusive_ptr {
    T* p;
public:
    intrusive_ptr(T* obj) : p(obj) {if (p != NULL) intrusive_ptr_add_ref(p);}
    ~intrusive_ptr() {if (p) intrusive_ptr_release(p);}
    intrusive_ptr& operator=(T* obj) {...}
    T* operator->() const {return p;} // la magie est la !
    T& operator*() const {return *p;}
    .....
};

void foo() {
    intrusive_ptr<Shape> ptr = new Circle(0, 0, 50);
    ptr->setX(20); // fait ptr.p->setX(20)
} // ptr est détruit car dans la pile => appelle destructeur
// => appelle intrusive_ptr_release()
```

Le smart pointer

- encapsule un raw pointer
- surcharge le **copy constructor**, et les **opérateurs =**, **->** et *****

Exceptions

```
class MathErr {};  
  
class Overflow : public MathErr {};  
  
struct Zerodivide : public MathErr {  
    int x;  
    Zerodivide(int x) : x(x) {}  
};  
  
void foo() {  
    try {  
        int z = calcul(4, 0)  
    }  
    catch(Zerodivide & e) { cerr << e.x << "divisé par 0" << endl; }  
    catch(MathErr)      { cerr << "erreur de calcul" << endl; }  
    catch(...)          { cerr << "autre erreur" << endl; }  
}  
  
int calcul(int x, int y) {  
    return divise(x, y);  
}  
  
int divise(int x, int y) {  
    if (y == 0) throw Zerodivide(x);    // throw leve l'exception  
    else return x / y;  
}
```

Exceptions

But : faciliter le traitement des erreurs

- permettent de **remonter dans la pile** des appels des fonctions
- jusqu'à un **point de contrôle**

```
void foo() {  
    try {  
        int z = calcul(4, 0)  
    }  
    catch(Zerodivide & e) {...}  
    catch(MathErr)      {...}  
    catch(...)          {...}  
}
```

Avantage

- gestion plus plus **centralisée** et plus **systématique** des erreurs
 - que des enchaînements de fonctions retournant des codes d'erreurs

Inconvénient

- peuvent rendre le flux d'exécution difficile à comprendre si on en abuse !

Exceptions

Différences entre C++ et Java

- en **C++** on peut renvoyer ce qu'on veut (pas seulement des objets)
- en **Java** les fonctions doivent **spécifier les exceptions**

Spécification d'exceptions de Java

```
int divide(int x, int y) throws Zerodivide, Overflow {...} // Java
int divide(int x, int y); // C++
```

- n'existent pas en **C#**, obsolètes en **C++**
- compliquent le code et entraînent des limitations :
 - en **Java** une méthode redéfinie dans une sous-classe **ne peut pas spécifier** de nouvelles exceptions

Exceptions

Exceptions standards

- **exception** : classe de base ; header : <exception>
- **runtime_error**
- **bad_alloc, bad_cast, bad_typeid, bad_exception, out_of_range ...**

Handlers

- **set_terminate()** et **set_unexpected()** spécifient ce qui se passe en dernier recours

Redéclenchement d'exceptions

```
try {
    ..etc..
}
catch (MathErr& e) {
    if (can_handle(e)) {
        ..etc..
        return;
    }
    else {
        ..etc..
        throw; // relance l'exception
    }
}
```

Assertions

```
#include <Square.h>
#include <assert.h>

void changeSize(Square * obj, unsigned int size) {
    assert(obj);           <----- précondition
    obj->setWidth(size);
    assert(obj->getWidth() == obj->getHeight()); <----- postcondition
}
```

Pour faire des tests en mode débog

- en mode **débog** : **assert()** **aborte** le programme si valeur = 0
- en mode **production** : définir la macro **NDEBUG** et **assert()** ne fait plus rien
 - option de compilation `-DNDEBUG`
 - ou `#define NDEBUG` **avant** `#include <assert.h>`

Remarques

- il est **dangereux** de ne faire aucun test en mode production (**exceptions** faites pour cela)
- préférer les **tests unitaires** (ex : [GoogleTest](#), [CppTest](#), [CppUnit](#))

Une source d'erreur fréquente...

Attention

- le pointeur peut être **nul** !
- ca arrive **souvent** ...

```
void changeSize(Square * obj, unsigned int size) {
    obj->setWidth(size);
}
```

Mieux !

- lancer une **exception**
- c'est ce que fait **Java**

```
void changeSize(Square * obj, unsigned int size) {
    if (obj) obj->setWidth(size);
    else throw NullPointerException("changeSize");
}
```

Encore mieux !

- une **référence C++** ne peut pas être nulle
- mais ne **pas** faire :

```
void foo(Square * obj) {
    changeSize(*obj, 200) <----- DANGER : tester que obj n'est pas nul !
}
```

Une source d'erreur fréquente...

```
#include <string>
#include <stdexcept>

struct NullPointer : public runtime_error {
    explicit NullPointer(const std::string & what)
        : runtime_error("Error: Null pointer in" + what) {}
    explicit NullPointer(int line, const char * file)
        : runtime_error("Error: Null pointer at line "+to_string(line)+" of file: "+file) {}
};

#define CheckPtr(obj) (obj ? obj : throw NullPointer(__LINE__, __FILE__),obj)
```

```
void changeSize(Square * obj, unsigned int size) {
    if (obj) obj->setWidth(size);
    else throw NullPointer("changeSize");
}
```

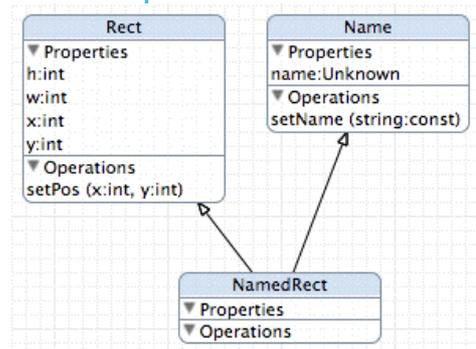
```
void changeSize(Square * obj, unsigned int size) {
    CheckPtr(obj)->setWidth(size);
}
```

Héritage multiple

```
class Rect {
    int x, y, w, h;
public:
    virtual void setPos(int x, int y);
    ....
};

class Name {
    string name;
public:
    virtual void setName(const string&);
    ....
};

class NamedRect : public Rect, public Name {
public:
    NamedRect(const string& s, int x, int y, int w, int h)
        : Rect(x,y,w,h), Name(s) {}
};
```



Principe

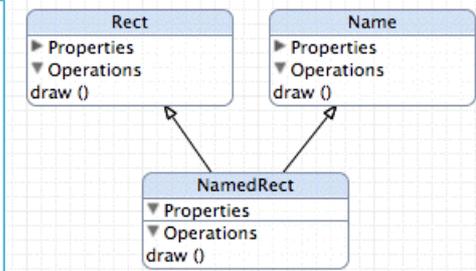
- la classe hérite de **toutes** les variables et méthodes de **ses** superclasses

Collisions de noms

```
class Rect {
    int x, y, w, h;
public:
    virtual void draw();
    ....
};

class Name {
    string x;
public:
    virtual void draw();
    ....
};

class NamedRect : public Rect, public Name {
public:
    ....
};
```



Variables ou méthodes ayant le **même nom** dans les superclasses

=> il faut les **préfixer** pour pouvoir y accéder

```
NamedRect * p = ...;
p->draw(); // ERREUR!
p->Rect::draw(); // OK
p->Name::draw(); // OK
```

Collisions de noms

```
class Rect {
    int x, y, w, h;
public:
    virtual void draw();
    ....
};

class Name {
    string x;
public:
    virtual void draw();
    ....
};

class NamedRect : public Rect, public Name {
public:
    void draw() override {
        Rect::draw();
        Name::draw();
    }
    // ou bien
    using Rect::draw();
    ...
};
```

Solutions

- **redéfinir** les méthodes concernées
- OU
- **choisir** la méthode héritée avec **using**

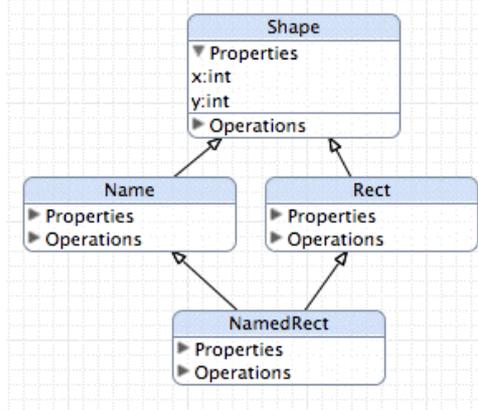
Héritage en diamant

```
class Shape {
    int x, y, w, h;
public:
    virtual void draw();
    ....
};

class Rect : public Shape {
    ....
};

class Name : public Shape {
    ....
};

class NamedRect : public Rect, public Name {
public:
    ....
};
```



Problème

- la classe de base (**Shape**) est **dupliquée** car elle est héritée des **deux côtés**
- rarement utile !

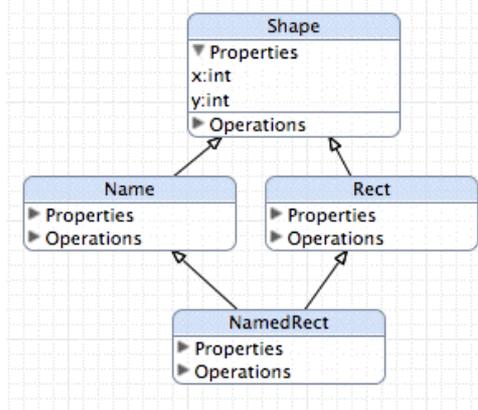
Héritage en diamant

```
class Shape {
    int x, y, w, h;
public:
    virtual void draw();
    ....
};

class Rect : public Shape {
    ....
};

class Name : public Shape {
    ....
};

class NamedRect : public Rect, public Name {
public:
    ....
};
```



Solution 1 : pas de variables

- ne mettre **que des méthodes** dans les classes de base
- c'est ce que fait **Java 8** avec les **default methods** des **interfaces**

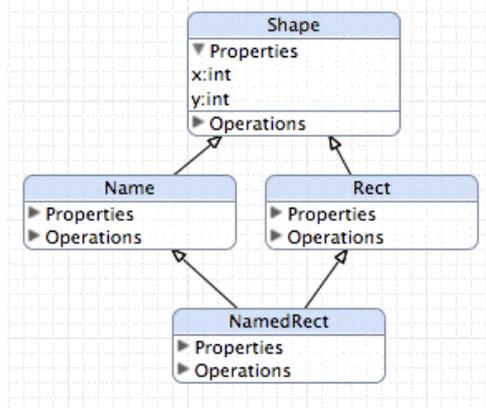
Héritage virtuel

```
class Shape {
    int x, y, w, h;
public:
    virtual void draw();
    ....
};

class Rect : public virtual Shape {
    ....
};

class Name : public virtual Shape {
    ....
};

class NamedRect : public Rect, public Name {
public:
    ....
};
```



Solution 2 : héritage sans duplication avec **virtual**

- un peu plus **coûteux** en mémoire et en temps
- ne pas faire de **casts** (seulement du **dynamic_cast**)

Classes imbriquées

```
class Car : public Vehicle {
    class Door {
    public:
        virtual void paint();
        ....
    };
    Door leftDoor, rightDoor;
    string model, color;
public:
    Car(string model, string color);
    ...
};
```

← classe imbriquée

Technique de composition souvent préférable à l'héritage multiple

Classes imbriquées (2)

```
class Car : public Vehicle {  
    class Door {  
    public:  
        virtual void paint();  
        ....  
    };  
    Door leftDoor, rightDoor;  
    string model, color;  
public:  
    Car(string model, string color);  
    ...  
};
```

problème: `paint()` n'a pas accès à `color`

Java

- les méthodes des **classes imbriquées** ont automatiquement accès aux variables et méthodes de la **classe contenante**

Pas en C++ !

Classes imbriquées (3)

```
class Car : public Vehicle {  
    class Door {  
        Car* car;  
    public:  
        Door(Car* car) : car(car) {}  
        virtual void paint();  
        ....  
    };  
    Door leftDoor, rightDoor;  
    string model, color;  
public:  
    Car(string model, string color);  
    ...  
};
```

pointe l'objet contenant

OK : `paint()` a accès à `car->color`

Solution (rappel)

- pour « envoyer un message » à un objet il faut son **adresse**

Sérialisation

But

- transformer l'**information en mémoire** en une **représentation externe non volatile** (et vice-versa)

Cas d'usage

- **persistance** : sauvegarde sur / relecture depuis un fichier
- **transport réseau** : communication de données entre programmes

Implémentation

- **Java** : en standard mais spécifique à Java
- **C/C++** : pas en standard (pour les objets) mais extensions :
 - *Cereal, Boost, Qt, Protocol Buffers (Google), OSC ...*

Sérialisation binaire vs. texte

Sérialisation binaire

- objets stockés en **binaire**
- codage **compact** mais pas lisible par un humain
- **pas compatible** d'un ordinateur à l'autre
 - alignement / taille des nombres
 - little/big endian
- sauf si **format standardisé**
 - Protocol Buffers...

Sérialisation au format texte

- tout est converti en **texte**
- prend **plus de place** mais lisible et un peu plus coûteux en CPU
- **compatible** entre ordinateurs
- **formats standards**
 - XML/SOAP
 - JSON
 - etc.

Écriture d'objets (format texte)

Principe : définir des fonctions de lecture et d'écriture polymorphiques

```
#include <iostream>

class Vehicule {
public:
    virtual void write(ostream & f);
    virtual void read(istream & f);
    ....
};

class Car : public Vehicule {
    string model;
    int power;
public:
    void write(ostream & f) override {
        Vehicule::write(f);
        f << model << '\n' << power << '\n';
    }
    void read(istream & f) override {
        Vehicule::read(f);
        f >> model >> power;
    }
    ....
};
```

ne pas oublier virtual !

chaîner les méthodes

Fichier:

```
xxx\n
xxx\n
Ferrari 599 GTO\n
670\n
xxx\n
xxx\n
Smart Fortwo\n
71\n

xxx : écrit par Véhicule
```

Lecture d'objets (problème)

```
void read(istream & f) override {
    Vehicule::read(f);
    f >> power >> model;
}
```

Problème

>> s'arrête au premier espace (' ', '\n', '\r', '\t', '\v', '\f')

Fichier:

```
xxx\n
xxx\n
Ferrari 599 GTO\n
670\n
xxx\n
xxx\n
Smart Fortwo\n
71\n
```

Lecture d'objets (problème)

```
void read(istream & f) override {
    Vehicule::read(f);
    f >> power >> model;
}
```

Problème

>> s'arrête au premier espace (' ', '\n', '\r', '\t', '\v', '\f')

Solution

`getline()` : lit toute la ligne (ou jusqu'à un certain caractère)

```
void read(istream & f) override {
    Vehicule::read(f);
    getline(f, model);
    string s;
    getline(f, s);
    model = stoi(s);
}
```



Ecrire sur un fichier

```
bool save(const string & fileName, const vector<Car *> & objects) {
    ostream f(fileName); // f(fileName.c_str()) avant C++11
    if (!f) {
        cerr << "Can't open file " << fileName << endl;
        return false;
    }
    // seulement avec C++11, sinon utiliser forme usuelle avec begin()/end()
    for (auto it : objects) it->write(f);
    return true;
}
```

Lire depuis un fichier

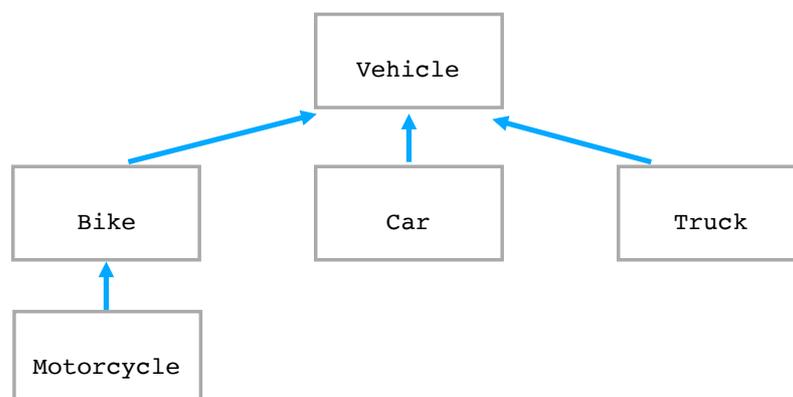
```
bool load(const string & fileName, vector<Car *> & objects) {
    ifstream f(fileName);
    if (!f) {
        cerr << "Can't open file " << fileName << endl;
        return false;
    }

    while (f) { // pas d'erreur et pas en fin de fichier
        Car * car = new Car();
        car->read(f);
        if (f.fail()) { // erreur de lecture
            cerr << "Read error in " << fileName << endl;
            delete car;
            return false;
        }
        else objects.push_back(car);
    }
    return true;
}
```

Classes polymorphes

Problème

- les objets ne sont **pas tous du même type** (mais dérivent d'un même type)
 - e.g. Car, Truck, Bike ...



Classes polymorphes

Problème

- les objets ne sont **pas tous du même type** (mais dérivent d'un même type)
 - e.g. Car, Truck, Bike ...
- => stocker le **nom de la classe**

Principe

- en écriture :
 - 1) écrire le **nom de la classe** de l'objet
 - 2) écrire ses **attributs**
- en lecture :
 - 1) lire le **nom de la classe**
 - 2) **créer l'objet** correspondant
 - 3) lire ses **attributs**

Classes polymorphes

```
class Vehicle {
public:
    virtual const char* classname() const {return "Vehicle";}
    ....
};

class Car : public Vehicle {
public:
    const char* classname() const override {return "Car";}
    ....
};

bool load(const string & fileName, vector<Vehicle *> & objects);
    ....
    string className;
    while (getline(f, className)) {
        Vehicle * obj = createVehicle(className);    // factory qui sert à
        if (obj) obj->read(f);                       // créer les objets
        ....
    }
    ....
}
```

- façon simple de récupérer le nom des classes (voire aussi **typeid()**)
- **factory** : objet ou fonction qui crée tous les objets

stringstream

Flux de caractères

- fonctionne de la même manière que `istream` et `ostream`

```
#include <string>
#include <iostream>
#include <sstream>

void foo(const string& str) {
    std::stringstream ss(str);
    int power = 0;
    string model;
    ss >> power >> model;
    cout << "Vehicle: power:" << power << " model: " << model << endl;

    Vehicle * obj = new Car();
    obj->read(ss);
}

foo("670 \n Ferrari-599-GT0");
```

Compléments

Améliorations

- meilleur traitement des erreurs
- gérer les pointeurs et les conteneurs
=> utiliser **Boost**, **Cereal**, etc.

JSON

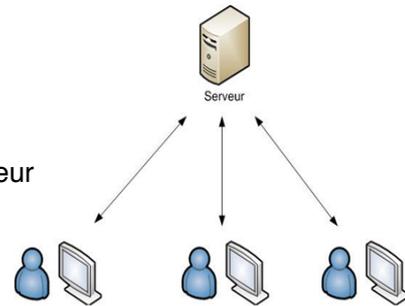
- **JavaScript Object Notation**
- commode pour les échanges textuels

```
{
  "firstName": "John",
  "lastName": "Smith",
  "isAlive": true,
  "age": 25,
  "address": {
    "streetAddress": "21 2nd Street",
    "city": "New York",
    "state": "NY",
    "postalCode": "10021-3100"
  },
  "phoneNumbers": [
    {
      "type": "home",
      "number": "212 555-1234"
    },
    {
      "type": "office",
      "number": "646 555-4567"
    },
    {
      "type": "mobile",
      "number": "123 456-7890"
    }
  ],
  "children": [],
  "spouse": null
}
```

Client / serveur

Cas typique

- un serveur de calcul
- des interfaces utilisateur pour interagir avec le serveur
- cas du TP INF224



source:
maieutapedia.org

Principe

- le client émet une requête, obtient une réponse, et ainsi de suite
- dialogue **synchrone** ou **asynchrone**

Client / serveur

Dialogue synchrone

- le client émet une **requête** et **bloque** jusqu'à réception de la **réponse**
- le plus simple à implémenter
- problématique si la réponse met du temps à arriver ou en cas d'erreur

Dialogue asynchrone

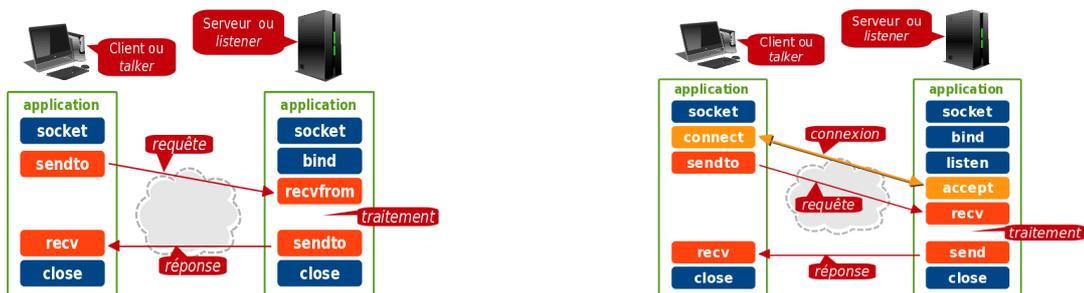
- le client vaque à ses occupations après l'émission de la requête
- quand la réponse arrive une **fonction de callback** est activée
- exemples :
 - thread qui attend la réponse
 - **XMLHttpRequest** de JavaScript



Sockets

Principe

- **canal de communication bi-directionnel** entre 2 programmes
- programmes éventuellement sur des machines différentes
- divers protocoles, **UPD** et **TCP** sont les plus courants



source: inetdoc.net

Eric Lecolinet - Télécom ParisTech - Programmation orientée objet et autres concepts illustrés en C++11

220

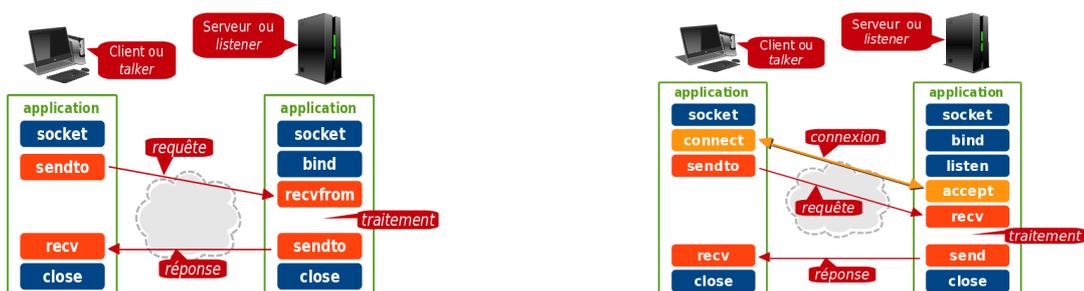
Sockets

Protocole UDP

- **Datagram sockets** (type SOCK_DGRAM)
- protocole "léger", «**non connecté**»
- peu coûteux en ressources
- rapide mais des paquets peuvent être **perdus** ou arriver dans le **désordre**

Protocole TCP

- **Stream sockets** (type SOCK_STREAM)
- protocole **connecté**
- un peu plus coûteux en ressources
- flux d'octets entre 2 programmes, **pas** de paquets perdus et toujours dans l'**ordre**
- ex : HTTP, TP INF224



source: inetdoc.net

Eric Lecolinet - Télécom ParisTech - Programmation orientée objet et autres concepts illustrés en C++11

221

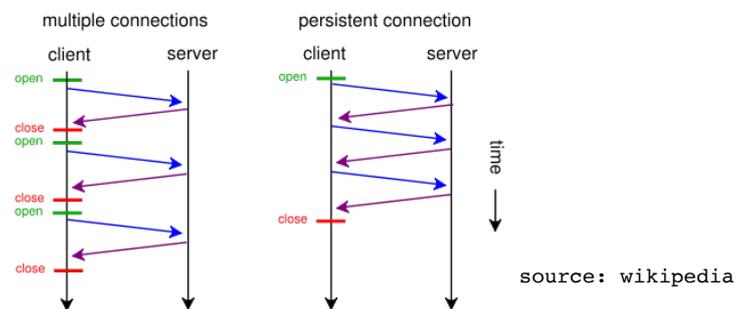
Sockets

Connexion TCP persistante

- le client est **toujours** connecté au serveur
- solution utilisée dans le TP

Connexion TCP non persistante

- le client n'est connecté que **pendant l'échange de messages**
- moins rapide, moins de flexibilité
- mais consomme moins de ressources côté serveur



Mémoire et sécurité

```
#include <stdio.h> // en langage C
#include <stdbool.h>
#include <string.h>

#define CODE_SECRET "1234"

int main(int argc, char**argv)
{
    bool is_valid = false;
    char code[5];

    printf("Enter password: ");
    scanf("%s", code);

    if (strcmp(code, CODE_SECRET) == 0)
        is_valid = true;

    if (is_valid)
        printf("Welcome dear customer ;-)\n");
    else
        printf("Invalid password !!!\n");

    return 0;
}
```

Questions :

Que fait ce programme ?

Est-il sûr ?

Mémoire et sécurité

```
#include <stdio.h> // en langage C
#include <stdbool.h>
#include <string.h>

#define CODE_SECRET "1234"

int main(int argc, char**argv)
{
    bool is_valid = false;
    char code[5];

    printf("Enter password: ");
    scanf("%s", code);

    if (strcmp(code, CODE_SECRET) == 0)
        is_valid = true;

    if (is_valid)
        printf("Welcome dear customer ;-)\n");
    else
        printf("Invalid password !!!\n");

    printf("Adresses: %p %p %p %p\n",
           code, &is_valid, &argc, argv);

    return 0;
}
```

Avec LLVM sous MacOSX 10.7.1 :

```
Enter password: 111111
Welcome dear customer ;-)
```

Adresses:

```
0x7fff5fbff98a 0x7fff5fbff98f
0x7fff5fbff998 0x7fff5fbff900
```

Débordement de chaînes :
technique typique de **piratage**
informatique

Mémoire et sécurité

```
#include <iostream> // en C++
#include <string>

static const string CODE_SECRET{"1234"};

int main(int argc, char**argv)
{
    bool is_valid = false;
    string code;

    cout << "Enter password: ";
    cin >> code;

    if (code == CODE_SECRET) is_valid = true;
    else is_valid = false;

    if (is_valid)
        cout << "Welcome dear customer ;-)\n";
    else
        cout << "Invalid password !!!\n";

    return 0;
}
```

string au lieu de char*

pas de débordement :
taille allouée automatiquement

rajouter une clause else
ne mange pas de pain
et peut éviter des erreurs

Mélanger C et C++

De préférence

- tout compiler (y compris les .c) avec compilateur C++

Si on mélange compilation en C et compilation en C++

- édition de liens avec compil C++
- main() doit être dans un fichier C++
- une fonction C doit être déclarée comme suit dans C++

```
extern "C" void foo(int i, char c, float x);  
ou  
extern "C" {  
    void foo(int i, char c, float x);  
    int  goo(char* s, char const* s2);  
}
```

Mélanger C et C++

Dans un header C

- pouvant indifféremment être inclus dans un .c ou un .cpp, écrire :

```
#ifndef __cplusplus  
extern "C" {  
#endif  
  
void foo(int i, char c, float x);  
int  goo(char* s, char const* s2);  
  
#ifndef __cplusplus  
}  
#endif
```

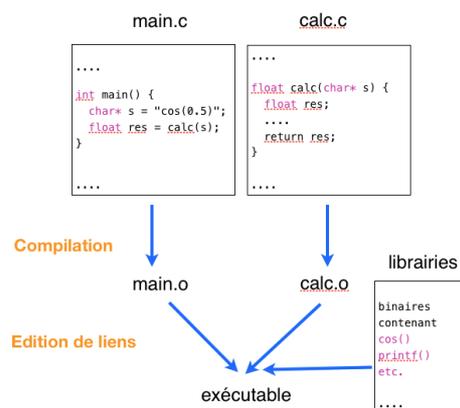
Librairies statiques et dynamiques

Librairies statiques

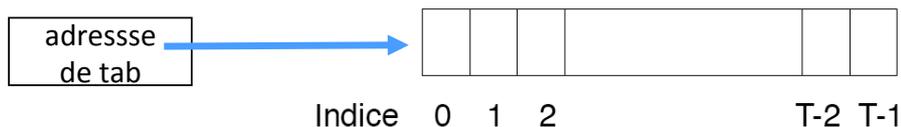
- code binaire **inséré dans l'exécutable** à la compilation
- extension .a (Unix)

Librairies dynamiques

- code binaire chargé **dynamiquement** à l'exécution
- .dll (Windows), .so (Linux), dylib (Mac)
- avantages :
 - programmes **moins gros** et **plus rapides** (moins de swap si DLL partagée)
- inconvénient :
 - nécessite la présence de la **DLL** (cf. licences et versions) (cf. variable `LD_LIBRARY_PATH` (ou équivalent) sous Unix)



Arithmétique des pointeurs



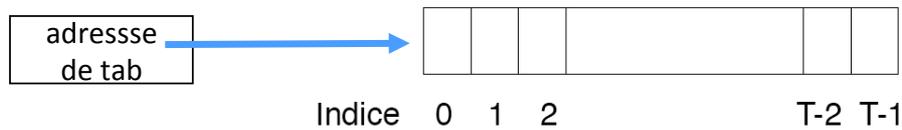
Tableaux

```
int tab[10];  
tab[k] == *(tab + k) // valeur du kième élément du tableau  
&tab[k] == tab + k // adresse du kième élément du tableau
```

Pointeurs : même notation !

```
int* p = tab; // équivaut à : p = &tab[0];  
p[k] == *(p + k) // valeur du kième élément à partir de p  
&p[k] == p + k // adresse du kième élément à partir de p
```

Tableaux et pointeurs



Même notation mais ce n'est pas la même chose !

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

`sizeof(tab)` vaut 10

`sizeof(p)` dépend du processeur (4 si processeur 32 bits)

Manipulation de bits

Opérateurs

&	ET
	OU inclusif
^	OU exclusif
<<	décalage à gauche
>>	décalage à droite
~	complément à un

```
int n = 0xff, m = 0;  
m = n & 0x10;  
m = n << 2;      /* équivalent à: m = n * 4 */
```

Attention: ne pas confondre & avec && (et logique) ni | avec || (ou logique)

Orienté objet en C

C

```
typedef struct {
    char* name;
    long id;
} User;

User* createUser (const char* name, int id);
void destroyUser (User*);
void setUserName (User*, const char* name);
void printUser (const User*);
....

void foo() {
    User* u = createUser("Dupont");
    setUserName(u, "Durand");
    ....
    destroyUser(u);
    u = NULL;
}
```

C++

```
class User {
    char* name;    // en fait utiliser string
    long id;
public:
    User (const char* name, int id);
    virtual ~User();
    virtual void setName(const char* name);
    virtual void print() const;
    ....
};

void foo() {
    User* u = new User("Dupont");
    u->setName("Durand");
    ....
    delete u;
    u = NULL;
}
```

Orienté objet en C

```
typedef struct User {
    int a;
    void (*print) (const struct User*);
} User;
```

```
typedef struct Player { // subclass
    User base;
    int b;
} Player;
```

```
void print(const User* u) {
    (u->print)(u);
}
```

```
void printUser(const User *u) {
    printf("printUser a=%d \n", u->a);
}
```

```
void printPlayer(const Player *u) {
    printf("printPlayer a=%d b=%d\n",
        u->base.a, u->b);
}
```

```
User* newUser() {
    User* p = (User*) malloc(sizeof(User));
    p->a = 0;
    p->print = printUser;
    return p;
}
```

```
Player* newPlayer() {
    Player* p = (Player*) malloc(sizeof(Player));
    p->base.a = 0;
    p->base.print = printPlayer; // cast nécessaire
    p->b = 0;
    return p;
}
```

```
int main() {
    Player* p = newPlayer();
    p->base.a = 1;
    p->b = 2;
    print(p);
}
```

```
// NB: en fait il faudrait partager les pointeurs
// de fonctions de tous les objets d'une même
// classe via une vtable
```