11 - Héritage et polymorphisme

UE 15 - Informatique appliquée

F. Pluquet

HelHa
Slides originaux de R. Absil (ESI)

23 novembre 2018

Table des matières

Introduction

Overview

- Un des fondements de la POO
- Permet de « transférer » la signature d'une classe dans une autre
- En jargon C++, on parle souvent de *classe dérivée* et de *classe de base* plutôt que de sous-classe et de super-classe.

Dérivation en C++

- Via « `:` » après le nom de la classe
- `class B : A { ... };`
- Appels super-constructeurs via la liste d'initialisation

- Plusieurs « types » de dérivation possibles
  - Définit la visibilité des membres de la classe de base

Exemple

- Fichier `Pointcol.cpp`

```
1  class Point
2  {
3    int x, y;
4
5    public:
6      Point(int x = 0, int y = 0) : x(x), y(y) {}
7      void setLocation(int x, int y) { this -> x = x; this -> y = y; }
8      friend ostream& operator <<(ostream& out, const Point& p);
9  };
10 ostream& operator <<(ostream& out, const Point& p){
11   out << "( " << p.x << " , " << p.y << " )";  return out;
12 }
13 class Pointcol : public Point
14 {
15   short r, g, b;
16
17   public:
18     Pointcol(int x, int y, short r, short g, short b) : Point(x,y), r(r), g(g), b(b) {}
19 };
20
21 int main()
22 {
23   Pointcol p(1,2,80,0,0); cout << p << endl;
24   p.setLocation(3,4); cout << p << endl;
25 }
```

Principes

Différents types de dérivation

- Trois types de dérivation
  1. Dérivation publique : `class B : public A { ... };`
     - Les membres publics de `A` sont accessibles comme membres publics dans `B`
     - Les membres protégés de `A` sont accessibles comme membres protégés dans `B`
  2. Dérivation privée : `class B : private A { ... };`
     - Les membres publics et protégés de `A` sont accessibles comme membres privés dans `B`
  3. Dérivation protégée : `class B : protected A { ... };`
     - Les membres publics et protégés de `A` sont accessibles comme membres protégés dans `B`
- En l'absence de spécificateur d'accès, la dérivation est
  - publique pour les `struct`
  - privée pour les `class`

Spécificateurs d'accès et amitié

- Le mot-clé `protected` permet au membre spécifié d'être accédé par le concepteur d'une sous-classe
- Résolution de portée via `::`
- Une classe dérivée n'a jamais accès aux membres privés de sa classe de base
  - Sauf si une relation d'amitié est déclarée
- Possibilité de définir un membre dans une classe à l'aide de `using`
  - Permet de changer la visibilité d'un membre dans une sous-classe
  - Éviter
- Possibilité de définir une classe dérivée comme amie d'une classe de base
  - Permet à une sous-classe d'accéder aux membres privés de sa classe de base

Exemple 1

- Fichier `specifier.cpp`

```
1  class A
2  {
3    public:
4      void printA() { cout << "A"; }
5  };
6
7  class B : public A
8  {
9    public:
10     void printB()
11     {
12       printA(); //ok : printA is a public member of this
13       cout << "B";
14     }
15 };
16
17 int main()
18 {
19   A a; a.printA(); cout << endl;
20   B b; b.printB(); b.printA(); cout << endl; //ok : printA is a public member of B
21 }
```

Exemple 1

- Fichier `specifier.cpp`

```
1  class C : private A
2  {
3    public:
4      void printC()
5      {
6        printA(); //ok : printA is a private member of this
7        cout << "C";
8      }
9  };
10
11 class D : public C
12 {
13   public:
14     void printD()
15     {
16       //printA(); //ko : printA is a private member of superclass
17       cout << "D";
18     }
19 };
20
21 int main()
22 {
23   C c; c.printC(); cout << endl; //c.printA(); //ko : printA is a private member of C
24   D d; d.printD(); cout << endl; //d.printA(); //ko : printA is a private member of D
25 }
```

Exemple 1

- Fichier `specifier.cpp`

```
1  class E : protected A
2  {
3    public:
4      void printE()
5      {
6        printA(); //ok : printA is a protected member of this
7        cout << "E";
8      }
9  };
10
11 class F : public E
12 {
13   public:
14     void printF()
15     {
16       printA(); //ok : printA is a protected member of superclass
17       cout << "F";
18     }
19 };
20
21 int main()
22 {
23   E e; e.printE(); cout << endl; //e.printA(); //ko : printA is a protected member of E
24   F f; f.printF(); cout << endl; //f.printA(); //ko : printA is a protected member of F
25 }
```

Exemple 2

- Fichier `using.cpp`

```
1  class A
2  {
3    protected :
4      int i;
5    public:
6      A(int i = 0) : i(i) {}
7  };
8
9  class B : public A
10 {
11   public:
12     using A::i;
13     using A::A;
14 };
15
16 int main()
17 {
18   B b(4); cout << b.i << endl;
19   b.i = 3; cout << b.i << endl;
20 }
```

Amitié et héritage : rappel

Règles

- Les relations d'amitié ne sont pas transitives
  - L'ami d'un ami n'est pas votre ami
- L'amitié n'est pas propagée par héritage
  - Les enfants de votre ami ne sont pas vos amis
  - Vos enfants ne sont pas les amis de votre ami
- À partir de C++11, les amis ont accès aux classes internes privées

- Souvent, un choix de design est effectué pour soit
  1. rendre une classe `B` entière amie d'une autre classe `A`
  2. faire d'une classe `B` une classe interne d'une autre classe `A`
- Cf. Slides sur les fonctions amies

Exemple

- Fichier `friend.cpp`

```
1  class A
2  {
3    int _i;
4
5    public:
6      A() : _i(2) {}
7      int i() const { return _i; }
8
9      friend class M; //class M is a friend of A
10 };
11
12 class B : public A
13 {
14   int _j;
15
16   public:
17     B() : _j(3) {}
18     int j() const { return _j; }
19 };
```

Exemple

- Fichier `friend.cpp`

```
1  //M is a friend of A and not a friend of its children
2  class M
3  {
4    int _k;
5
6    public:
7      M(A a) : _k(a._i * 2) {}
8      //M(B b) : _k(b._j * 3) {}
9
10     int k() const { return _k; }
11 };
12
13 //children of M are neither friends of A or B
14 class N : public M
15 {
16   int _l;
17
18   public:
19     N(A a) : M(a)/*, _l(a._i * 4)*/ {}
20     N(B b) : M(b)/*, _l(b._j * 5)*/ {}
21
22     int l() const { return _l; }
23 };
```

Redéfinition et surdéfinition

Redéfinition des membres d'une classe dérivée

- Pour redéfinir un membre d'une classe dérivée, il suffit de le déclarer avec le même prototype que celui de la classe de base.
  - Le membre de la classe de base est alors « caché ».
- Un appel au membre sur la classe dérivée appelle le membre redéfini.

Exemple

- `struct A { void print() { ... } };`
- `struct B : A { void print() { ... } };`
- `B b; b.print(); //calls B::print`

- `final` empêche la redéfinition d'un membre dans une classe dérivée, ou la dérivation d'une classe

Accès aux membres et transtypage

- Accès aux membres via `b.print()` (dérivé) et `b.A::print()` (classe de base).
- Aucune correspondance polymorphique n'est effectuée par défaut !
  - On ne peut pas mettre un `B` automatique dans un `A` automatique.
    - Si on le fait = « tronquage des membres »
  - Si on met un `B` dynamique dans un `A` dynamique, on ne peut appeler que les membres de `A`.
    - Même comportement avec les références
  - Plus de détails dans la section « Polymorphisme »

Exemple

- Fichier `auto.cpp`

```
1  class Point
2  {
3    protected:
4      int x, y;
5
6    public:
7      Point(int a = 0, int b = 0) : x(a), y(b) {}
8
9      void print()
10     { cout << "( " << x << " , " << y << " )" << endl; }
11 };
12
13 class Pointcol : public Point
14 {
15   short r, g, b;
16   public:
17     Pointcol(int x = 0, int y = 0, int r = 255, int g = 255, int b = 255)
18       : Point(x,y), r(r), g(g), b(g) {}
19
20     void print()
21     {
22       cout << "( " << x << " , " << y << " ) - color : "
23         << r << " , " << g << " , " << b << endl;
24     }
25 };
```

Exemple

- Fichier `auto.cpp`

```
1  int main()
2  {
3    Point p(3,5);
4    Pointcol pc (8,6,255,128,128);
5
6    p.print();
7    pc.print();
8
9    p = pc; //truncated
10   p.print(); //no polymorphism
11
12   Point * ptp = &p;
13   Pointcol * ptpc = &pc;
14   ptp = ptpc; //no polymorphism
15   ptp -> print();
16 }
```

Redéfinition et surdéfinition

Redéfinition (overiding)

- Réécriture du prototype d'un membre d'une classe de base au sein d'une classe dérivée.

Surdéfinition (overloading)

- Réécriture du prototype d'un membre, souvent au sein d'une même classe.
  - Seul autre cas : réécriture du prototype d'un membre `final` d'une classe de base dans une classe dérivée.

- Le compilateur effectue une résolution des liens et décide quelle fonction appeler

Résolution des liens lors d'héritage

- Les liens sont résolus dans l'ordre suivant :
  1. Appel direct
     - Correspondance exacte, appel explicite potentiel
  2. Conversion de paramètre et appel direct avec le converti
     - Uniquement si une conversion implicite est possible
  3. Appel de base
     - Appel du membre de la classe de base
  4. Conversion de paramètre et appel de base avec le converti
     - Uniquement si une conversion implicite est possible

Exemple 1

- Fichier `linkres-1.cpp`

```
1  class A
2  {
3    public:
4      void f(int n)
5      {
6        cout << "int " << n << endl;
7      }
8
9      void f(char n)
10     {
11       cout << "char " << n << endl;
12     }
13 };
14
15 class B : public A
16 {
17   public:
18     void f(float x)
19     {
20       cout << "float " << x << endl;
21     }
22 };
```

Exemple 1

- Fichier `linkres-1.cpp`

```
1  int main()
2  {
3    int n = 1;
4    char c = 'a';
5    A a;
6    B b;
7
8    a.f(n);
9    a.f(c);
10   b.f(n);
11   b.f(c);
12 }
```

Exemple 2

- Fichier `linkres-2.cpp`

```
1  class A
2  {
3    public:
4      void f(int n)
5      {
6        cout << "A::int " << n << endl;
7      }
8
9      void f(char n)
10     {
11       cout << "char " << n << endl;
12     }
13 };
14
15 class B : public A
16 {
17   public:
18     void f(int n)
19     {
20       cout << "B::int " << n << endl;
21     }
22 };
```

Exemple 2

- Fichier `linkres-2.cpp`

```
1  int main()
2  {
3    int n = 1;
4    char c = 'a';
5    B b;
6
7    b.f(n);
8    b.f(c);
9  }
```

Exemple 3

- Fichier `linkres-3.cpp`

```
1  class A
2  {
3    public:
4      void f(int n)
5      {
6        cout << "int " << n << endl;
7      }
8
9      void f(char n)
10     {
11       cout << "char " << n << endl;
12     }
13 };
14
15 class B : public A
16 {
17
18 };
```

Exemple 3

- Fichier `linkres-3.cpp`

```
1  int main()
2  {
3    int n = 1;
4    char c = 'a';
5    B b;
6
7    b.f(n);
8    b.f(c);
9  }
```

Exemple 4

- Fichier `linkres-4.cpp`

```
1  class A
2  {
3    public:
4      void f(int n)
5      {
6        cout << "A::int " << n << endl;
7      }
8
9      void f(char n)
10     {
11       cout << "char " << n << endl;
12     }
13 };
14
15 class B : public A
16 {
17   public:
18     void f(int n, int m)
19     {
20       cout << "int,int " << n << " " << m << endl;
21     }
22 };
```

Exemple 4

- Fichier `linkres-4.cpp`

```
1  int main()
2  {
3    int n = 1;
4    char c = 'a';
5    B b;
6
7    b.f(n);
8    b.f(c);
9  }
```

Construction, destruction, affectation

Ordre d'appel

- Soient `A` une classe de base et `B` une classe dérivée.
- Quand on crée un objet `B`, on appelle, dans cet ordre :
  1. le constructeur de `A`,
  2. le constructeur de `B`.
- Quand on détruit un objet `B`, on appelle, dans cet ordre :
  - le destructeur de `B`,
  - le destructeur de `A`.
- Pour les constructeurs et destructeurs par défaut, les appels sont faits implicitement.
- Pour les constructeurs avec paramètres, il faut les appeler via la liste d'initialisation.

Exemple

- Fichier `constr-destr.cpp`

```
1  struct A
2  {
3    A() { cout << "+A()"<< endl; }
4    A(int a) { cout << "+A(int)" << endl; }
5    ~A() { cout << "-A()" << endl;}
6  };
7
8  struct B : A
9  {
10   B() { cout << "+B()" << endl; }
11   B(int a, int b) : A(a) { cout << "+B(int,int)" << endl; }
12   ~B() { cout << "-B()" << endl; }
13 };
14
15 int main()
16 {
17   A a; A aa(2);
18   B b; B bb(2,2);
19 }
```

Constructeur de recopie

Rappel

- Le constructeur de recopie est appelé quand
  1. on initialise un objet par un autre de même type (explicite),
  2. on passe un objet par valeur à une fonction (implicite).

- Les règles d'appel liées au constructeur sont aussi valides pour le constructeur de recopie.
- Il faut néanmoins tenir compte de certaines subtilités selon que le constructeur de recopie a été redéfini ou non.
- Dans les exemples suivants, `B` dérive publiquement de `A`.

Absence de constructeur de recopie dans la classe dérivée

- Appel du constructeur de recopie par défaut de `B`.
  - Rappel : la recopie se fait membre à membre.
  - Les données pointées par les attributs dynamiques ne sont pas recopiées.
- La « partie » de `B` qui « appartient » à `A` est traitée comme un membre de type `A`.

Règle

- Le constructeur de recopie de la classe de base est appelé implicitement.

- S'il existe, il est appelé.
- Sinon : constructeur de recopie par défaut.

Exemple

- Fichier `no-recop.cpp`

```
1  class Point
2  {
3    protected:
4      int x, y;
5    public:
6      Point(int a = 0, int b = 0) : x(a), y(b) {}
7      Point(const Point& p) : x(p.x), y(p.y) { cout << "+r Point" << endl; }
8      friend ostream& operator << (ostream& out, const Point& p)
9      {
10       out << "( " << p.x << " , " << p.y << " )";
11     }
12 };
13
14 class Pointcol : public Point
15 {
16   short r, g, b;
17   public:
18     Pointcol(int x = 0, int y = 0, int r = 0, int g = 0, int b = 0)
19       : Point(x,y), r(r), g(g), b(b) {}
20     friend ostream& operator << (ostream& out, const Pointcol& p)
21     {
22       out << "( " << p.x << " , " << p.y << " ) - color "
23           << p.r << " " << p.g << " " << p.b;
24     }
25 };
```

Exemple

- Fichier `no-recop.cpp`

```
1  void f(Pointcol p)
2  {
3    cout << "f" << endl;
4  }
5
6  int main()
7  {
8    Pointcol a(1,2,3);
9    f(a);
10 }
```

Présence de constructeur de recopie dans la classe dérivée

- Il est nécessaire de recopier la partie de la classe de base `A`.
- Dans ce cas-ci, la recopie est explicite.

Règle

- Le constructeur de recopie de la classe dérivée doit prendre en charge *l'intégralité* de la recopie de l'objet.

- En l'occurrence, pas uniquement sa partie dérivée.
- En général, on recommande d'appeler le constructeur de recopie de la classe de base via la liste d'initialisation.
  - S'il existe, il est appelé.
  - Sinon : constructeur de recopie par défaut.

Exemple

- Fichier `recop.cpp`

```
1  class Point
2  {
3    protected:
4      int x, y;
5
6    public:
7      Point(int a = 0, int b = 0) : x(a), y(b) {}
8
9      Point(const Point& p) : x(p.x), y(p.y)
10     {
11       cout << "+r Point" << endl;
12     }
13
14     friend ostream& operator << (ostream& out, const Point& p)
15     {
16       out << "( " << p.x << " , " << p.y << " )";
17     }
18 };
```

Exemple

- Fichier `recop.cpp`

```
1  class Pointcol : public Point
2  {
3    short r, g, b;
4
5    public:
6      Pointcol(int x = 0, int y = 0, int r = 0, int g = 0, int b = 0)
7        : Point(x,y), r(r), g(g), b(b) {}
8
9      Pointcol(const Pointcol &p) : Point(p), r(p.r), g(p.g), b(p.g)
10     {
11       cout << "+r Pointcol" << endl;
12     }
13
14     friend ostream& operator << (ostream& out, const Pointcol& p)
15     {
16       out << "( " << p.x << " , " << p.y << " ) - color "
17           << p.r << " " << p.g << " " << p.b;
18     }
19 };
```

Exemple

- Fichier `recop.cpp`

```
1  void f(Pointcol p)
2  {
3    cout << "f" << endl;
4  }
5
6  int main()
7  {
8    Pointcol a(1,2,255,128,128);
9    f(a);
10 }
```

Absence d'opérateur d'affectation dans la classe dérivée

- L'opérateur d'affectation peut être surdéfini dans toute classe (en particulier, dans une classe de base `A`).
- L'affectation est effectuée membre à membre, les données pointées par les attributs dynamiques ne sont pas recopiées.

Règle

- L'opérateur d'affectation de la classe de base est appelé implicitement.

- S'il existe, il est appelé.
- Sinon : affectation par défaut.

Exemple

- Fichier `no-affect.cpp`

```
1  class Point
2  {
3    protected:
4      int x, y;
5
6    public:
7      Point(int a = 0, int b = 0) : x(a), y(b) {}
8
9      Point & operator =(const Point& p)
10     {
11       if(this != &p)
12       {
13         x = p.x;
14         y = p.y;
15         cout << "= Point" << endl;
16       }
17       return *this;
18     }
19
20     friend ostream& operator << (ostream& out, const Point& p)
21     {
22       out << "( " << p.x << " , " << p.y << " )";
23     }
24 };
```

Exemple

- Fichier `no-affect.cpp`

```
1  class Pointcol : public Point
2  {
3    short r, g, b;
4
5    public:
6      Pointcol(int x = 0, int y = 0, int r = 0, int g = 0, int b = 0)
7        : Point(x,y), r(r), g(g), b(b) {}
8
9      friend ostream& operator << (ostream& out, const Pointcol& p)
10     {
11       out << "( " << p.x << " , " << p.y << " ) - color " 
12           << p.r << " " << p.g << " " << p.b;
13     }
14 };
15
16 int main()
17 {
18   Pointcol p1(1,2,255, 128, 128); Pointcol p2(4,5,255, 128, 128);
19   p2 = p1; cout << p1 << endl; cout << p2 << endl;
20
21   Pointcol * pt1 = new Pointcol(1,2,255,128,128);
22   Pointcol * pt2 = new Pointcol(4,5,255,128,128);
23   pt1 = pt2; cout << *pt1 << endl; cout << *pt2 << endl;
24 }
```

Présence d'opérateur d'affectation dans la classe dérivée

- Il est nécessaire d'affecter la partie de la classe de base.
- Cette affectation doit être faite explicitement, comme pour le constructeur de recopie.

Règle

- L'opérateur d'affectation dans la classe dérivée doit prendre en charge l'intégralité de l'affectation de l'objet.

- Changement par rapport au constructeur de recopie : pas de liste d'initialisation.
- Il faut faire autrement.

Exemple

- Fichier `affect.cpp`

```
1  class Point
2  {
3    protected:
4      int x, y;
5
6    public:
7      Point(int a = 0, int b = 0) : x(a), y(b) {}
8
9      Point & operator =(const Point& p)
10     {
11       if(this != &p)
12       {
13         x = p.x;
14         y = p.y;
15         cout << "= Point" << endl;
16       }
17       return *this;
18     }
19
20     friend ostream& operator << (ostream& out, const Point& p)
21     {
22       out << "( " << p.x << " , " << p.y << " )";
23     }
24 };
```

Exemple

- Fichier `affect.cpp`

```
1  class Pointcol : public Point
2  {
3    short r, g, b;
4    public:
5      Pointcol(int x = 0, int y = 0, int r = 0, int g = 0, int b = 0)
6        : Point(x,y), r(r), g(g), b(b) {}
7      Pointcol & operator =(const Pointcol& p)
8      {
9        if(this != &p)
10       {
11         Point * p1 = this;//polymorphism mandatory for *p1=*p2
12         const Point* p2 = &p;//polymorphism, const allows p2=&p
13         *p1 = *p2;//affectation in Point
14         r = p.r; g = p.g; b = p.b;
15         cout << "= Pointcol" << endl;
16       }
17       return *this;
18     }
19     friend ostream& operator << (ostream& out, const Pointcol& p)
20     {
21       out << "( " << p.x << " , " << p.y << " ) - color "
22           << p.r << " " << p.g << " " << p.b;
23     }
24 };
```

Exemple

- Fichier `affect.cpp`

```
1  int main()
2  {
3    Pointcol p1(1,2,255, 128, 128);
4    Pointcol p2(4,5,255, 128, 128);
5
6    cout << p1 << endl;
7    cout << p2 << endl;
8    cout << endl;
9
10   p2 = p1;
11   cout << p1 << endl;
12   cout << p2 << endl;
13
14   Pointcol * pt1 = new Pointcol(1,2,255,128,128);
15   Pointcol * pt2 = new Pointcol(4,5,255,128,128);
16
17   delete pt1;
18
19   pt1 = pt2;
20   cout << *pt1 << endl;
21   cout << *pt2 << endl;
22
23   delete pt1;
24 }
```

Polymorphisme

Introduction

- Conceptuellement, si `B` hérite de `A`, tous les objets de `B` sont des objets de `A`.
  - Toutes les voitures sont des véhicules, mais tous les véhicules ne sont pas des voitures.
- Cette compatibilité apparaît en `C++` dans le cas de dérivation publique.
- Certaines conversions implicites sont autorisées :
  - objet dérivé en objet de base (avec tronquage possible),
  - d'un pointeur (resp.référence) sur une classe dérivée en un pointeur (resp. référence) sur une classe de base.

Conversion automatique d'un type dérivé en type de base

- Un objet dérivé est souvent plus gros qu'un objet de base
- Avec les objets automatiques, on manipule de « vraies » données
  - Pas des adresses ou des alias

Résultat

- Les objets convertis sont « tronqués »
- Les données « spécifiques » aux type dérivés sont perdues

- Les conversions dans l'autre sens provoquent une erreur à la compilation
  - Quel que soit le type de conversion
  - Affectation, `static_cast`, `dynamic_cast`

Conversion dynamique d'un type dérivé en type de base

- Ici, on ne manipule pas des données, mais des adresses ou des alias
- Le problème de taille précédent n'est plus présent ici

Résultat

- Les objets convertis sont cohérents

- Les conversions dans l'autre sens provoquent des résultats variés
  - Résultats incohérents, erreur de segmentation, `bad_cast`, `nullptr`

Exemple

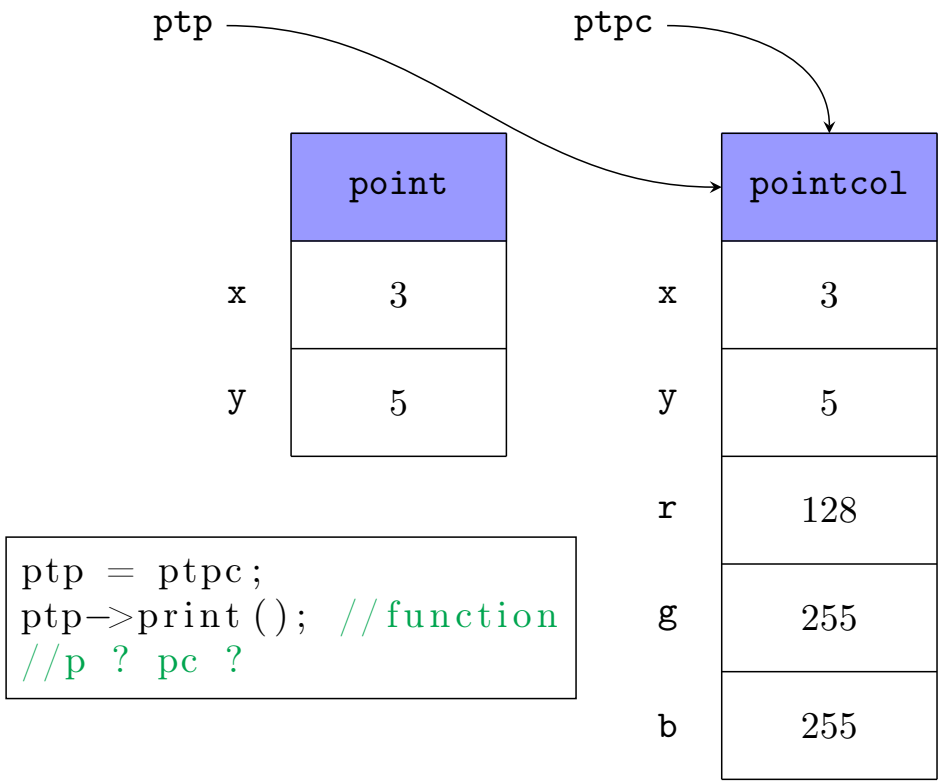
- Fichier `conv.cpp`

```
1  Point p (1,2); Pointcol pc (3,4,128,255,255);
2  p = pc; //pp truncated : p is "really" a Point
3  //pc = p; // ko
4  //pc = static_cast<Pointcol>(p); //ko
5
6  p  = Point(1,2); Point& rp = p; pc = Pointcol(3,4,128,255,255); Pointcol& rpc = pc;
7  rp = rpc; //no truncation
8
9  p = Point(1,2);
10 //rpc = rp; //ko
11 rpc = static_cast<Pointcol&>(rp);// ok, but incoherent result
12 //rpc = dynamic_cast<Pointcol&>(rp);//ok, launches bad_cast
13
14 Point * ptp = new Point(1,2); Pointcol * ptpc = new Pointcol(3,4,128,255,255);
15 ptp = ptpc; //no truncation
16
17 ptp = new Point(1,2);
18 //ptpc = ptp; //ko
19 //ptpc = static_cast<Pointcol*>(ptp);//ok, but seg fault
20 if(Pointcol * converted = dynamic_cast<Pointcol*>(ptp))
21 {
22   cout << (*ptp) << endl;
23   cout << (*ptpc) << endl;
24 }
25 else
26   cout << "You cannot convert this Point to a Pointcol" << endl;
```

Résolution statique des liens : illustration

Question : fichier `static.cpp`

- Que font les instructions suivantes ?



Résolution statique des liens

- `ptp` est de type `Point` mais l'objet pointé par `ptp` est de type `Pointcol`.
  - On choisit donc la fonction `print` de `Point`

Résolution statique des liens

- Le choix de la fonction est effectué à la compilation, une fois pour toutes

- Intuitivement, le type des objets pointés (ou non) est décidé et figé à la compilation.
- Un choix de résolution ne peut-être effectué qu'avec des pointeurs et des références
  - Avec des objets automatiques, un tronquage aurait été effectué
  - Comportement indéterminé

Résolution dynamique des liens

- La fonction de la classe « la plus profonde » doit être appelée.

Résolution dynamique des liens

- La fonction à appeler doit être déterminée à l'exécution.

- Possible via des objets dynamiques et des méthodes virtuelles.
  - Mot-clé `virtual`
- Déclaration (suffisant) dans la classe de base.
- Intuitivement : « tous les enfants définissent la fonction comme ils l'entendent ».

Exemple

- Fichier `dynamic.cpp`

```
1  class point
2  {
3    protected:
4      int x, y;
5    public:
6      point(int a = 0, int b = 0) : x(a), y(b) {}
7
8      virtual void print()  {  cout << "( " << x << " , " << y << " )" << endl; }
9  };
10
11 class pointcol : public point
12 {
13   short r, g, b;
14
15   public:
16     pointcol(int x = 0, int y = 0, int r = 255, int g = 255, int b = 255)
17       : point(x,y), r(r), g(g), b(b) {}
18
19     void print()
20     {
21       cout << "( " << x << " , " << y << " )"
22            << " -- color " << r << " " << g << " " << b << endl;
23     }
24 };
```

Résolution dynamique des liens et polymorphisme

- Par défaut, toutes les résolutions de liens sont statiques.
  - Performance
- `virtual` impose une résolution dynamique des liens pour la fonction ainsi que toutes ses redéfinitions.
  - Légère perte de performance à l'exécution (runtime).
- On peut également faire de la détermination de type à l'exécution avec des objets dynamiques, sans tronquage.
- Résolution dynamique des liens + résolution dynamique des types = polymorphisme.

Remarque

- Le polymorphisme ne s'applique jamais aux paramètres

Exemple

- Fichier `params.cpp`

```
1  struct A
2  {
3    virtual void f(A&) { cout << "A::f(A)" << endl; }
4  };
5
6  struct B : A
7  {
8    virtual void f(A&) { cout << "B::f(A)" << endl; }
9    virtual void f(B&) { cout << "B::f(B)" << endl; }
10 };
11
12 int main()
13 {
14   A a; B b; A& ra = a;
15   ra.f(a); ra.f(b);
16
17   ra = b; ra.f(a); ra.f(b);
18
19   A& rab = b; rab.f(a); rab.f(b);
20
21   A * pa = new A; B * pb = new B;
22   pa->f(*pa); pa->f(*pb);
23
24   pa = pb; pa->f(*pa); pa->f(*pb);
25 }
```

Debriefing

- `B::f(b)` n'est *jamais* appelé
  - Car c'est une surdéfinition, pas une redéfinition
  - Mot-clé `override` (C++11)

Rappel

- Les références sont *constantes*

- Réaffecter une référence ne change pas la référence, mais l'objet référencé
- Le type de l'objet référencé est déterminé dynamiquement (à l'exécution) lors de son initialisation
  - Impossible de le changer après
- Ce genre de comportement « ne se produit pas » avec des pointeurs
  - Émulation possible avec pointeurs constants

Propriétés des fonctions virtuelles

- Une fonction virtuelle dans une classe l'est dans toutes ses classes dérivées.
- Redéfinir une fonction virtuelle n'est pas obligatoire.
- On peut surdéfinir ($\neq$ redéfinir) une fonction virtuelle.
  - ... mais c'est d'intérêt discutable.
- Le type de retour `R` ne peut pas être changé.
  - ... sauf si on retourne un type dérivé de `R`
- Seule une fonction membre peut être virtuelle.
- Un constructeur ne peut pas être virtuel.
  - ... mais un destructeur, si.
- Attention : opérateur d'affectation.
  - Pas de polymorphisme sur les paramètres

Destructeur virtuel

Hygiène de programmation

- Dans une classe de base polymorphe, prévoir soit
  - aucun destructeur,
  - un destructeur privé ou protégé,
  - un destructeur public virtuel.

Motivation

- Pour éviter une résolution statique des liens, soit on la « rend dynamique », soit on empêche la destruction.

- Idée : « éviter les ennuis » si héritage.

Opérateur d'affectation

- La surcharge d'opérateur peut être virtuelle.
- L'affectation en particulier
  - ... mais elle se comporte différemment d'une fonction « habituelle ».
- Redéfinir l'opérateur d'affectation dans une classe dérivée ne redéfinit pas l'opérateur d'affectation dans une classe de base.

Conclusion

- Le « polymorphisme » ne s'applique pas en cas d'affectation.

Exemple

- Fichier `affect-virtual.cpp`

```
1  class A
2  {
3    public:
4      virtual A & operator = (const A&) { cout << "=A" << endl; }
5  };
6
7  class B : public A
8  {
9    public:
10     virtual B & operator = (const B&) //override //ko
11     { cout << "=B" << endl; }
12 };
13
14 int main()
15 {
16   A * a1 = new A; A * a2 = new A;
17   B * b1 = new B; B * b2 = new B;
18
19   *b1 = *b2;
20   *a1 = *b1;
21   *a1 = *b2;
22 }
```

- Opérateur surdéfini, pas redéfini

Fonctions virtuelles pures

- Idée : créer des classes *abstraites* qui ne serviront qu'à être dérivées.
- On peut forcer la redéfinition de certaines fonctions dont on ne connaît *a priori* pas le comportement.
  - Exemple : `sort` d'un algorithme de tri abstrait qui peut être implémenter par insertion, en bulle, etc.
- À l'évidence, ces classes ne peuvent être instanciées.
- Utilisation de *fonctions virtuelles pures*
  - `virtual void sort() = 0;`
- Définition *nulle*, pas *vide*.

Classes abstraites

- Une classe comportant une fonction virtuelle pure est considérée comme *abstraite*.
- Une classe abstraite ne peut pas être instanciée
  - ... mais on peut toujours avoir des objets dynamiques
  - ... et des déclarations d'objets dynamiques.
- Motivation : polymorphisme
- Une fonction virtuelle pure dans une classe de base doit obligatoirement être soit
  - redéfinie dans les classes dérivées,
  - déclarée à nouveau comme virtuelle pure dans les classes dérivées.

Exemple

- Fichier `abstract.cpp`

```
1  struct vehicle
2  {
3    virtual int nbWheels() = 0;
4  };
5
6  struct car : vehicle
7  {
8    int nbWheels() { return 4; }
9  };
10
11 struct bike : vehicle
12 {
13   int nbWheels() { return 2; }
14 };
```

Exemple

- Fichier `abstract.cpp`

```
1  int main()
2  {
3    car c;
4    bike b;
5
6    cout << "Bike␣with␣" << b.nbWheels() << "␣wheels" << endl;
7    cout << "Car␣with␣" << c.nbWheels() << "␣wheels" << endl;
8
9    //vehicle v = bike(); //KO (instance)
10   //vehicle v; //KO (instance)
11
12   vehicle & rv = b; //ok
13   cout << "Vehicle␣with␣" << rv.nbWheels() << "␣wheels" << endl;
14   rv = c; //reaffacting a ref does not change the ref, but the referenced object
15   cout << "Vehicle␣with␣" << rv.nbWheels() << "␣wheels" << endl;
16
17   vehicle * v = new car();
18   cout << "Vehicle␣with␣" << v -> nbWheels() << "␣wheels" << endl;
19 }
```

Héritage multiple

Introduction

- Concrètement, permet à une classe d'être dérivée de plusieurs classes.
  - Rappel : pas d'interfaces en C++.
- Les règles vues pour l'héritage « simple » sont d'application pour l'héritage multiple.
- Mêmes « problèmes » liés à la résolution statique des liens, à la présence ou non de constructeurs de recopie, à la surcharge de l'affectation, etc.
- Mêmes règles d'appel de constructeurs et de destructeurs.
  - Quelques particularités toutefois.
- Mêmes manières d'appeler les fonctions et constructeurs des classes de base.

Exemple

- Fichier `multiple.cpp`

```
1  class point
2  {
3    int x, y;
4
5    public:
6      point(int a = 0, int b = 0) : x(a), y(b) {}
7
8      virtual void print()
9      {
10       cout << "(" << x << "␣,␣" << y << ")";
11     }
12 };
13
14 class color
15 {
16   short r, g, b;
17
18   public:
19     color(int r = 0, int g = 0, int b = 0) : r(r), g(g), b(b) {}
20
21     virtual void print()
22     {
23       cout << "[" << r << "␣,␣" << g << "␣,␣" << b << "]";
24     }
25 };
```

Exemple

- Fichier `multiple.cpp`

```
1  class pointcol : public point, public color
2  {
3    public:
4      pointcol(int x = 0, int y = 0, int r = 0, int g = 0, int b = 0)
5        : point(x,y), color(r,g,b) {}
6
7      void print() override
8      {
9        cout << "{ ";
10       point::print(); cout << " , "; color::print();
11       cout << " }";
12     }
13 };
14
15 int main()
16 {
17   pointcol p(1,2,100,128,255);
18   p.print(); cout << endl;
19   p.point::print(); cout << endl;
20   p.color::print(); cout << endl;
21
22   color & c = p; c.print(); cout << endl;
23   point& pp = p; pp.print(); cout << endl;
24 }
```

Appel des constructeurs et destructeurs

Héritage simple

- Constructeurs : ordre de dérivation (base > dérivée).
- Destructeurs : ordre inverse de dérivation (dérivée > base).

Héritage multiple

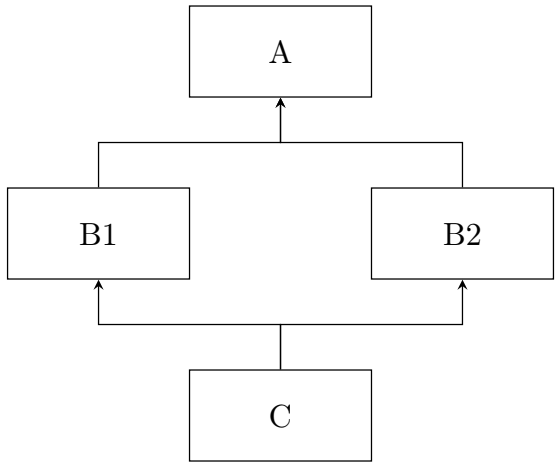
- Constructeurs : ordre de dérivation, par ordre de déclaration (base1 > base2 > dérivée).
- Destructeurs : ordre inverse de dérivation, par ordre inverse de déclaration (dérivée > base2 > base1).

Fichier `cstr-mult.cpp`

```
1  struct A
2  {
3    A() { cout << "+A" << endl; }
4    A(const A& a) { cout << "rA" << endl; }
5    virtual ~A() { cout << "-A" << endl; }
6  };
7
8  struct B
9  {
10   B() { cout << "+B" << endl; }
11   B(const B& a) { cout << "rB" << endl; }
12   virtual ~B() { cout << "-B" << endl; }
13 };
14
15 struct C
16 {
17   C() { cout << "+C" << endl; }
18   C(const C& a) { cout << "rC" << endl; }
19   virtual ~C() { cout << "-C" << endl; }
20 };
21
22 void f(A a) {}
23
24 int main()
25 {
26   C c; cout << endl;
27   f(c); cout << endl;
28   C * cc = new C(); cout << endl;
29   delete cc; cout << endl;
30 }
```

Problème lié à l'héritage multiple

- Supposez qu'on ait le schéma de dérivation suivant



Question

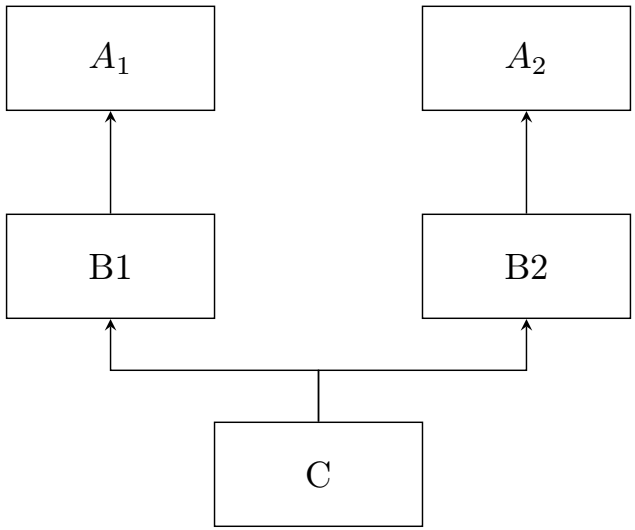
- Que fait un appel depuis `C` à un attribut de `A`, si `B1` et `B2` ne construisent pas `A` de la même façon ?

Fichier `diamond.cpp`

```
1  struct A
2  {
3    int i;
4    A(int i = 0) : i(i) {}
5  };
6
7  struct B1 : A
8  {
9    B1(int j = 0) : A(j) {}
10 };
11
12 struct B2 : A
13 {
14   B2(int j = 0) : A(j) {}
15 };
16
17 struct C : B1, B2
18 {
19   C(int j1 = 0, int j2 = 0) : B1(j1), B2(j2) {}
20 };
21
22 int main()
23 {
24   C c (2, 3);
25   cout << c.i << endl; //?!
26 }
```

Diamond of DEATH : le problème

- On remarque que la classe `C` possède deux copies de « super-objets » de types `A`
- Ces super-objets sont distincts, avec des attributs distincts



- L'appel `c.i` est ambigu.
  - On ne sait pas quel « chemin de dérivation » privilégier.
- Ordre d'appel des constructeurs : A_1 $B1$ A_2 $B2$ C

Dérivation « virtuelle »

- L'héritage multiple peut conduire à une duplication des membres.
  - Fonctions : sans importance (résolution de portée).
  - Attributs : problématique.
- Soit on veut délibérément une duplication des attributs
  - Bonne pratique ? Synchronisation ?
- On pourrait ne travailler qu'avec un jeu de données
  - Pertinence ? Synchronisation ?

Solution : « dérivation virtuelle »

```
class B1 : public virtual A
class B2 : public virtual A
class C : public B1, public B2
```

Construction : transmission des arguments

Problème

- Quels arguments transmettre au constructeur ? Ceux de `B1` ou ceux de `C2` ?

Solution

- En cas de dérivation virtuelle *uniquement*, on peut spécifier dans `C` des informations destinées à `A`.

- Exemple : `C(int j1, int j2) : A((j1 + j2) / 2) {}`

Fichier `diamond2.cpp`

```
1  struct A
2  {
3    int i;
4    A(int i = 0) : i(i) {}
5  };
6
7  struct B1 : A
8  {
9    B1(int j = 0) : A(j) {}
10 };
11
12 struct B2 : A
13 {
14   B2(int j = 0) : A(j) {}
15 };
16
17 struct C : B1, B2
18 {
19   C(int j1 = 0, int j2 = 0) : B1(j1), B2(j2) {}
20 };
21
22 int main()
23 {
24   C c (2, 3);
25   cout << c.i << endl;
26   cout << c.B1::i << endl;
27   cout << c.B2::i << endl;
28 }
```

Remarque

- Ordre d'appel : le constructeur d'une classe virtuelle est toujours appelé avant les autres.
- Exemple précédent : *A B*1 *B*2 *C*.

Hygiène de programmation

- Les classes dérivées *devraient* absolument soit
  - disposer d'un constructeur par défaut,
  - ne disposer d'aucun constructeur.

- Motivation : pouvoir instancier « correctement et pertinemment » les classes de type `B1` ou `C1`.
  - Incohérence : fichier `diamond-3.cpp`