Université de Lyon – Université Claude Bernard Lyon 1
Master d'Informatique

Programmation Avancée
Les différents mécanismes des langages (dont C++) pour la généricité

Norme ISO

Raphaëlle Chaine
raphaelle.chaine@liris.cnrs.fr
2024-2025

Eléments de contrôle pour les classes

– Amitié *(friend)*
– Qualificatif *explicit*

Fonction amie d'une classe

- Fonction autorisée à accéder à tous les membres des instances d'une classe dont elle est l'amie
- Une fonction amie est déclarée comme telle dans la spécification de la classe
  – syntaxe :
  friend + prototype fonction amie;
- Une fonction peut être amie de plusieurs classes


```
class Complexe
  {//declaration amie
   friend bool identique_re(Complexe,Complexe);
    ...
  };
bool identique_re(Complexe z1,Complexe z2)
  {return z1.re==z2.re; // acces membres }

puis …
Complexe z(3)
if (identique_re(z,Complexe(3,5)))
  {...}
```


Classe amie

- Classe dont toutes les fonctions membres sont amies
- Une classe amie est déclarée comme telle dans la définition de la classe

```
class CC
{
  friend class DD;
   ...
};
```


explicit

Mot-clef *explicit*

- Possibilité de conversion implicite induite par un constructeur à un seul argument : parfois indésirable !
- La supprimer avec le qualificatif *explicit* (lors de la déclaration du constructeur)

99

99

- Exemple

```
class Tableau
{public :
     explicit Tableau(int t) : tab(new int[t]), taille(t)
              { }
     …
 private :
     int * tab;
     int taille;
};
```

- Suppression de la possibilité (absurde) de conversion implicite d'un int en Tableau

100

100

Objets fonctions

101

101

Surcharge de l'opérateur ()

- Les objets instances d'une classe surchargeant l'opérateur () sont appelées des "objets fonctions"
- Elles peuvent être utilisées comme des fonctions
- On parle aussi de foncteur : abstraction de la notion de fonction

102

102

```
class Convertisseur
  {public :
       Convertisseur(double d=1.0) : taux(d) {}
       double operator () (double sum) const
              {return sum*taux;}
  private :
   double taux;
  };

  puis …
  Convertisseur euro2francs(6.56);
  std::cout << euro2francs(1000) << std::endl;
  std::cout << Convertisseur(2.0)(1000) << std::endl;
  std::cout << Convertisseur()(1000) << std::endl;
```

103

103

- Avantages :
  - La fonctionnalité d'un objet fonction peut être paramétrée grâce à ses données membres
  - Les objets fonctions peuvent être transmis en argument d'une autre fonction (sémantique plus précise qu'un pointeur de fonction)
    - Sémantique plus précise d'une fonction qui prend en paramètre un objet fonction de type Convertisseur `Convertisseur f;`
    - par rapport à une fonction qui prend en paramètre un pointeur sur une fonction (agissant sur un paramètre de type double et qui retourne un double).

```
double (*pf) (double)
double (LaClasse::*pfm)(double)
```

104

104

Redéfinitions de fonctions membres et polymorphisme

105

105

Intérêt du polymorphisme

- Programmer des classes avec des **fonctionnalités générales**, sans rentrer dans les détails liés aux différents cas de figures
  ex : fonctionnalités d'un moteur
- Programmer les **détails des fonctionnalités** dans des classes dérivées
  ex: fonctionnement d'un moteur à essence
  … ou diesel
- **Utiliser** les fonctionnalités spécialisées d'un objet référencé **sans connaître** de **quelle spécialisation** il s'agit

106

106

En JAVA

- Syntaxe de l'héritage et de la redéfinition de méthode en Java :

```
class Cadre extends Employe
{ …
  public void affiche()
   { super.affiche(); //affiche de la classe Employe
     system.out.println(" Cadre ");
   }
} // Mot clé super pour accéder à la méthode de
  //la classe mère
Employe gege = new Cadre;
gege.affiche();
```

107

107

En JAVA

- Syntaxe de l'héritage et de la redéfinition de méthode en Java :

```
Employe gege = new Cadre;
gege.affiche();
```

Mise en œuvre du polymorphisme : c'est la méthode affiche redéfinie dans Cadre qui est appelée!

108

108

Redéfinition de fonctions membres

```
class Employe
{ …
  int f(double);
};
```

```
class Cadre : public Employe
{ …
  int f(double); //redéfinition
};
```

- Si on souhaite qu'une instance de la classe Cadre réponde à une requête :
  - qu'on peut soumettre à un Employe,
  - mais de manière améliorée, ou simplifiée

  il convient de redéfinir la fonction membre f correspondante
- Déclaration de la version enrichie ou simplifiée de f dans la définition de Cadre

109

109

Une fonction membre de la classe Cadre est une redéfinition d'une fonction membre de la classe Employe **si** elles partagent un même prototype

- Remarque :
  La seule différence autorisée peut intervenir sur le type de la valeur de retour (covariance limitée)
  - si Employe::f retourne un TB* (resp TB &)
  - si Cadre::f retourne un TD* (resp TD &)

  et que TB est une **base public** de TD
- Attention :
  Si les fonctions partagent juste le même nom, il ne s'agit plus d'une redéfinition!

110

110

- Lors d'un appel, c'est le type statique de l'instance appelante qui détermine la version utilisée (résolution statique à la compilation)

```
Cadre c; Employe e;
Cadre *ac; Employe *ae;

e.f();
c.f();
e=c; e.f();
ae=&c; ae->f();
ac=static_cast<Cadre*>(ae); ac->f();
```

111

111

- Lors d'un appel, c'est le type statique de l'instance appelante qui détermine la version utilisée (résolution statique à la compilation)

```
Cadre c; Employe e;
Cadre *ac; Employe *ae;
e.f(); //Appel à Employe::f
c.f(); //Appel à Cadre::f
e=c; e.f(); //Appel à Employe::f
ae=&d; ae->f(); //Appel à Employe::f
ac=static_cast<Cadre*>(ae); ac->f(); //Appel à Cadre::f
```

112

112

- On peut néanmoins invoquer la version f de la base Employe sur une instance de la classe dérivée Cadre (opérateur de résolution de portée)

  d.Employe::f(); (équivalent du super de Java)

- LE POLYMORPHISME N'EST DONC PAS MIS EN ŒUVRE!
  - POURQUOI?
  - EST-CE QUE CA PRESENTE UN INTERET?

113

113

Rassurez-vous le polymorphisme existe tout de même en C++…

- Le polymorphisme pourra être mis en œuvre mais uniquement à travers des pointeurs ou des références (normal!)
- Pour pouvoir faire du polymorphisme il est nécessaire de connaître le type dynamique d'un pointeur ou d'une référence, c'est à dire le type de effectivement pointé ou référé lors de l'exécution!

114

114

Type statique / Type dynamique

- Si on considère un pointeur ou une référence sur un objet de type A,
  - le type statique de l'objet pointé ou référencé est A (type connu à la compilation)
  - mais l'objet pointé ou référencé est-il réellement du type A ou d'un type dérivé?
- La réponse à cette question ne peut être fournie qu'à l'exécution : résolution dynamique du type exact de l'objet
- Le type dynamique d'un objet pointé peut changer au cours du programme

115

115

```
class Cadre : public Employe { … };

Cadre c;
Employe e;
Employe & re=c;
Cadre & rc=c;
Employe *pe=&e;
pe=&c;
```

Quels sont les types statiques et dynamiques de c, e, re, rc et pe au cours du programme?

116

116

- Le type dynamique d'une instance de la classe A
  - ne change pas au cours de l'exécution du programme
  - coïncide avec le type statique A
- Le type dynamique de l'objet pointé par un A*
  - ne peut être résolu qu'à l'exécution du programme
  - peut varier au cours de son exécution
  - ne coïncide pas forcément avec le type statique A*
- Le type dynamique de l'objet référencé par un A&
  - ne peut être résolu qu'à l'exécution du programme
  - ne coïncide pas forcément avec le type statique A&

117

117

- Par défaut, la résolution de l'appel à une fonction membre **accédée à travers un pointeur** A* **ou une référence** A&
  - se fait à la compilation,
  - d'après le type statique du pointeur ou de la référence
- Possibilité de résoudre l'appel à cette fonction membre sur la base du type dynamique de l'objet effectivement pointé :
  - Il suffit de faire précéder la fonction membre de A du qualificatif virtual
  - permet l'aiguillage vers une éventuelle redéfinition de cette fonction membre

118

118

Fonctions virtuelles

```
Class Employe
{public :
  virtual void affiche()
   {std::cout<< num
              << std::endl;}
 private :
   int num;
};
```

```
class Cadre : public Employe
{public :
  virtual void affiche()
    { Employe::affiche();
      std::cout<< echelon
               <<std::endl;
    }
 private :
   int echelon;
};
```

```
Employe e; Cadre d;
Employe & re=d; Employe *pe=&e;
 e.affiche(); d.affiche();
 re.affiche(); pe->affiche();
 e=d; e.affiche();
 pe=&d; pe->affiche();
```

119

119

```
//Employe::affiche puis Cadre::affiche
//Cadre::affiche puis Employe::affiche
//Employe::affiche
//Cadre::affiche
```

120

120

- Une classe avec une fonction membre virtuelle est dite polymorphe
- Une fonction membre virtuelle est appelée une méthode

121

121

Principe du masquage

- Le mécanisme de redéfinition de fonction repose sur un simple principe de masquage :
  - la définition d'une classe dérivée D de B correspond à l'introduction d'une nouvelle **portée** (qui prévaut localement sur celle de B)
  - l'entrée de l'identificateur f dans la portée de D, **masque tout identificateur identique** hérité de B

122

122

```
class B
{public :
   int f(int);
};
```

```
class D : public B
{public :
   int f(int); //Redefinition
};
```

```
D d;
d.f(3);
```

Et là?

```
class B
{public :
   int f(int);
};
```

```
class D : public B
{public :
   int f(int,int); //Surcharge
};
```

```
D d;
d.f(3); ??
```

123

123

- AAAARGGGGHHH! Problème du masquage :
  - Le masquage ne se base que sur les identificateurs, **pas sur leur type**
  - Les identificateurs f définis ou déclarés dans D, ne désignent pas forcément la même chose* que les identificateurs f masqués dans B
- Conséquence :
  - masquage d'une fonction membre de B par une surcharge dans D
  - toutes les surcharges d'une fonction membre doivent être dans une même portée

*Ce ne sont pas forcément des redéfinitions!

124

124

```
class B
{public :
   int f(int);
};
```

```
class D : public B
{public :
   int f(int,int);
};
```

```
D d;
d.f(3); // NON!!!!
```

Possibilité de ramener un identificateur (masqué) de B dans la portée de D
(utilisation d'une *using-declaration*)

```
class B
{public :
   int f(int);
};
```

```
class D : public B
{public :
   int f(int,int);
   using B::f;
};
```

```
D d;
d.f(3); //OK
```

125

125

Mais revenons au polymorphisme!

- Attention:
  - A la compilation, **choix** de la **signature** de la fonction membre appelée et de la **validité** de son appel **sur la base du type statique du pointeur ou de la référence**!!!!
  - MEME QUAND IL S'AGIT D'UNE FONCTION MEMBRE VIRTUELLE! (virtual)

126

126

```
class Employe
{ …
   virtual void affiche();
   virtual int age_retraite();
   virtual void augmentation(int);
   virtual void salaire();
};
Employe *pe=new Cadre;
pe->affiche();
pe->age_retraite();
pe ->age_retraite(2);
pe ->augmentation(5.5);
pe->salaire();
```

```
class Cadre : public Employe
{ …
   void affiche();
   int age_retraite(int);
   void augmentation(double);
};

Cadre *pc=new Cadre;
pc->affiche();
pc->age_retraite();
pc ->age_retraite(2);
pc ->augmentation(5.5);
pc->salaire();
```

Quelles instructions sont valides?
Quelles sont les fonctions effectivement appelées?

127

127

```
class Employe
{ …
   virtual void affiche();
   virtual int age_retraite();
   virtual void augmentation(int);
   virtual void salaire();
};
Employe *pe=new Cadre;
pe->affiche(); // C::affiche()
pe->age_retraite();//E::age_retraite()
pe ->age_retraite(2);
pe ->augmentation(5.5);//E::aug(int)
pe->salaire(); // E::salaire()
```

```
class Cadre : public Employe
{ …
   void affiche();
   int age_retraite(int);
   void augmentation(double);
};

Cadre *pc=new Cadre;
pc->affiche(); // C::affiche()
pc->age_retraite();// existe …
   // mais masquée à l'analyse statique!
pc ->age_retraite(2);//C::age_ret.(int)
pc ->augmentation(5.5);//C::aug(dble
pc->salaire(); // E::salaire()
```

128

128

- Attention:
  - A la compilation, vérification de la **validité** de l'appel à une méthode, **sur la base du type statique**
  - Une fonction virtuelle peut être masquée par un identificateur identique qui ne correspond pas à une redéfinition …

129

129

- Pour s'assurer qu'on a bien fait une redéfinition et pas juste une surcharge qui vient masquer l'existant…
- C++ 11 est arrivé!

- Redéfinition plus explicite des fonctions membres

```
struct Base {
  virtual void fonc(int);
};
struct Derivee : Base {
   virtual void fonc(int) override;
  // Le compilateur ralera si ce n'est
  // pas une vraie redéfinition ☺
};
```

130

130

Quid des fonctions membres non virtuelles?

```
class Figure
{
  Couleur couleur;
 public :
  virtual void afficher(); //Redéfinie dans classes dérivées
  void effacer();      //Pas virtuelle mais ...
};

void Figure::effacer()
{Couleur temp=couleur;
 couleur=couleurFond;
 afficher();          //appel à une méthode virtuelle
 couleur=temp;
}
Figure *f = new Losange;
f->afficher(); f->effacer();
```

131

131

En JAVA

- Le masquage (*hiding*) en Java se fait sur la base du nom mais aussi des paramètres d'une méthode (mais pas le type retourné)
  - Plus intelligent que le simple masquage par le nom comme en C++
  - Pas d'effet de bord sur l'installation de surcharges (*overloading*) dans une classe dérivée
- Pour prévenir tout problème en C++:
  - Indiquez vos redéfinitions de fonctions membres avec le mot clé `override` (C++11)
  - toujours accompagner l'introduction d'une surcharge dans une classe dérivée d'une `using` declaration

132

132

Rappel de l'utilisation d'une *using-declaration*

```
class B
{public :
   int f(int);
};
```

```
class D : public B
{public :
   int f(int,int);
   using B::f;
};
```

```
D d;
d.f(3); //OK
```

133

133

En JAVA

- Les annotations Java permettent de signaler l'intention d'une redéfinition (*overriding*) à la manière du *override* de C++11

```
class Cadre extends Employe
{ …
  @Override
 public void affiche()
  { super.affiche(); //affiche de la classe Employe
    system.out.println(" Cadre ");
  }
}
Employe gege = new Cadre;
gege.affiche();
```

134

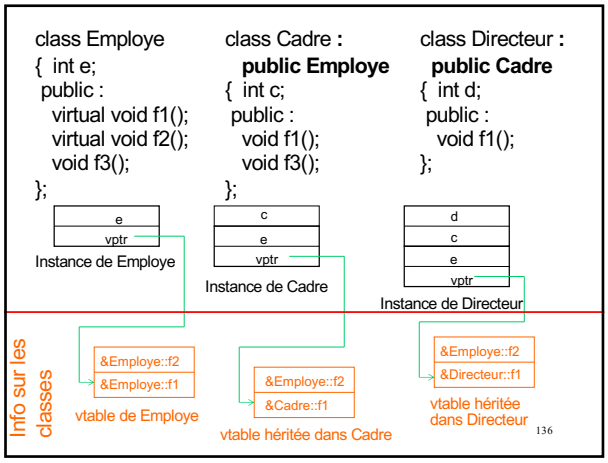
134

Liaison dynamique, comment?

- Le polymorphisme a un coût :
  - Chaque **classe** d'une hiérarchie polymorphe est caractérisée par une table des fonctions virtuelles **de la classe**
  - encombrement supplémentaire des instances des classes polymorphes
    - présence d'un **champ supplémentaire** de type pointeur, permettant d'accéder à la **table virtuelle** de la classe
    - la table virtuelle contient les adresses des fonctions virtuelles de la classe
  - délai supplémentaire à l'appel puisque appel indirect

135

135



136

136

Cadre d'utilisation

- Quand définir une fonction membre comme virtuelle ?
  - si **redéfinition à prévoir** dans des classes dérivées
  - si accès aux objets des classes dérivées via des **pointeurs** ou des **références**
- Autrement, le comportement d'une fonction virtuelle n'est pas différent de celui d'une fonction ordinaire (mais son appel est plus lent!)

137

137

Pour empêcher la dérivation d'une classe

- Depuis C++11, mot clef final

```
struct Base final {
  blablacode
};

//struct Derivee : Base { };
```

Dérivation refusée par le compilateur

final existait déjà en JAVA pour désigner une méthode non redéfinissable ou une classe non dérivable

138

138

- Polymorphisme mais analyse statique à la compilation
  - vérification statique de la **validité des droits**
  - prise en compte statique des **arguments par défaut**
  - résolution statique des **surcharges éventuelles**

→ **Le type statique détermine la signature de la fonction appelée**

139

139

```
class Employe
{
public :
  virtual void f1();
  virtual void f2(int i=0);
  virtual void f3(int);
};

class Cadre : public Employe
{private :
  void f1();
 public :
  void f2(int);
  void f3(int);
  void f3(char);
};

Employe *e=new Cadre;
e->f1();
e->f2();
e->f3('a');

Cadre *c=new Cadre;
c->f1();
c->f2();
c->f3('a');
```

Quelles instructions sont valides?
Quelles versions des fonctions sont appelées?

140

140

```
class Employe
{
public :
   virtual void f1();
   virtual void f2(int i=0);
   virtual void f3(int);
};
```

```
class Cadre : public Employe
{private :
   void f1();
 public :
   void f2(int);
   void f3(int);
   void f3(char);
};
```

```
Employe *e=new Cadre;
e->f1(); //Cadre::f1()
e->f2(); //Cadre::f2(0)
e->f3('a'); //Cadre::f3((int)'a')
```

```
Cadre *c=new Cadre;
c->f1(); // private!
c->f2();
c->f3('a'); // Cadre::f3('a')
```

141

141