

PARTIE II

Rappels de C++

Christophe Duhamel
Bruno Bachelet

- Caractéristiques générales
 - ❑ Historique
 - ❑ Héritage des autres langages
- POO en C++
 - ❑ Définition d'une classe
 - ❑ Cycle de vie des objets
 - ❑ Relations entre classes
- Autres concepts
 - ❑ Généricité
 - ❑ Exceptions
 - ❑ Surcharge d'opérateurs

Caractéristiques générales

■ Origines

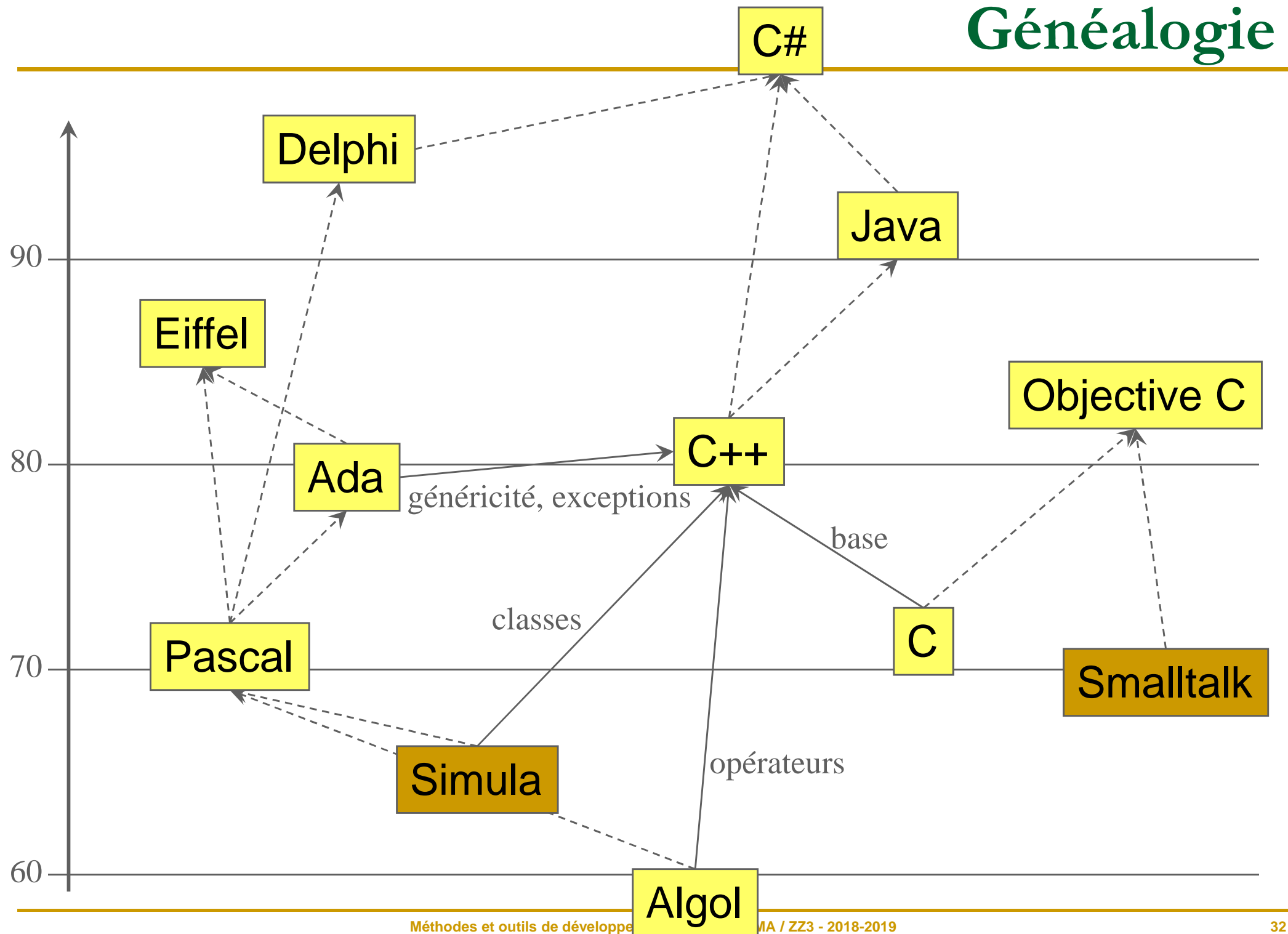
- ❑ Travaux de Bjarne Stroustrup (AT&T Bell)
- ❑ «*C with classes*» (80) → C++ (83)
- ❑ Normalisation en 98 (ISO/IEC 98-14882), norme C++ 98
- ❑ Depuis 2003, norme C++ 03
- ❑ Mi-2011, nouvelle norme C++ 11
- ❑ Mi-2014, nouvelle norme C++ 14

■ Langage orienté objet (← SIMULA 67)

- ❑ Typage fort
- ❑ Maintien des types primitifs et des fonctions

■ Support de la généricité et des exceptions (← ADA 79)

■ Surcharge des opérateurs (← ALGOL 68)



- En C, paramètres uniquement passés par valeur
 - ❑ Passage en mode *in/out* \Rightarrow «passage par adresse»
 - Passe (par valeur) l'adresse de la variable
 - ❑ Conséquences
 - Code peu lisible, passage de pointeurs, source d'erreurs

- En C++, utilisation de références (&)
 - ❑ Référence = nouvel alias d'une variable
 - ❑ Utilisation identique à une variable
 - ❑ Pointeur masqué, simulant le passage par référence
 - ❑ Pour les méthodes *inline*, vrai passage par référence

■ A la mode C

```
void swap (int * a, int * b)
{
    int c = *b;
    *b = *a;
    *a = c;
}

int main (int, char **)
{
    int i = 5, j = 6;
    swap (&i, &j);
    return 0;
}
```

■ A la mode C++

```
void swap (int & a, int & b)
{
    int c = b;
    b = a;
    a = c;
}

int main (int, char **)
{
    int i = 5, j = 6;
    swap (i, j);
    return 0;
}
```

■ Avantages

- ❑ Code plus lisible
- ❑ Appel plus simple
- ❑ Moins d'erreurs
- ❑ Efficace

■ Inconvénients

- ❑ Syntaxe ambiguë à cause de «&»
- ❑ Peu évident à comprendre au départ

■ Déclaration d'une référence

- ❑ Se déclare «comme» un pointeur
- ❑ Se comporte comme un alias sur l'objet
- ❑ Nécessite un objet référencé à la déclaration
- ❑ Ne peut changer d'objet par la suite

```
int i = 5;  
int & j = i;  
j = 4; // maintenant i=4 !
```

■ Référencer quoi ?

- ❑ Une référence non constante est toujours liée à une variable
- ❑ Une référence constante peut être liée à une constante
 - `const int & j = 4;`
- ❑ La référence nulle n'existe pas !

Règles d'usage des types: *const*, référence ?

Passage d'arguments

	Type primitif T	Classe C
Argument variable	<code>T & arg</code>	<code>C & arg</code>
Argument constant	<code>T arg</code> ou <code>const T & arg</code>	<code>const C & arg</code>

Retour de variable

	Type primitif T	Classe C
Retour (mode lecture) d'un attribut	<code>T m(...) const;</code> ou <code>const T & m(...) const;</code>	<code>const C & m(...) const;</code>
Retour (mode lecture/écriture) d'un attribut	<code>T & m(...);</code>	<code>C & m(...);</code>
Retour d'un résultat produit par une méthode	<code>T m(...) const;</code>	<code>C m(...) const;</code>

Allocation dynamique

- En C, couple `malloc` / `free`
- En C++, couple `new` / `delete`
- Pour allouer une donnée
`int * iptr = new int;`
...
`delete iptr;`
- Pour allouer un tableau
`int * iptr = new int[10];`
...
`delete[] iptr;`
- Réalisent aussi la construction / destruction
 - `new` = allocation mémoire + appel constructeur
 - `delete` = appel destructeur + libération mémoire
- Plus de `malloc` / `free` !

- En C, couple `printf` / `scanf` (et consorts)
- En C++, mécanisme de flux
 - Bibliothèque standard (namespace «`std`»)
 - Flux standard `std::cin`, `std::cout` et `std::cerr`
 - Inclusion de `<iostream>`
 - Pour éviter de rappeler le namespace: `using namespace std;`
 - Pour lire depuis le flux en entrée

```
double x; int j;
cin >> x >> j;
```
 - Pour envoyer dans le flux en sortie

```
double x; int j;
cout << x << " + " << j << " = " << x + j << endl;
```
 - Pour les fichiers: `<fstream>`

- Les classes en C++
 - ❑ Déclaration / définition
 - ❑ Cycle de vie des objets
- Les relations entre classes
 - ❑ Agrégation
 - ❑ Héritage
 - ❑ Association
- La généricité
 - ❑ Fonctions
 - ❑ Classes
- Les exceptions
- Les opérateurs

Déclaration d'une classe (1/2)

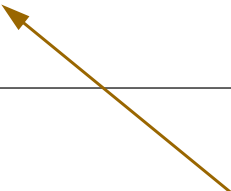
- Mot-clé «**class**»
- Contient les attributs et les prototypes des méthodes
- Modificateurs d'accès
 - **public**: membre accessible par tous
 - Réservé exclusivement aux méthodes de l'interface
 - **private**: membre accessible aux méthodes de la classe
 - Pour les attributs
 - Pour les méthodes non destinées à l'utilisateur
 - **protected**: membre accessible aux méthodes de la classe et de ses sous-classes
 - Assouplit l'accès privé à des fins de redéfinition dans les sous-classes
- Modificateur «**static**»
 - Définit un membre de classe

Déclaration d'une classe (2/2)

Point
-absc_ : entier -ordo_ : entier <u>-NbPoints : entier</u>
+x() : entier +y() : entier +move(incX : entier, incY : entier) +moveTo(X : entier, Y : entier) <u>+NbPoints() : entier</u>

```
class Point
{
    private:
        int absc;
        int ordo;
        static int nb_points;

    public:
        Point(int x, int y);
        int x(void) const;
        int y(void) const;
        void move(int, int);
        void moveTo(int, int);
        static int nbPoints(void);
} ;
```



Attention !

Définition d'une classe

```
Point::Point(int x, int y) {  
    absc = x;  
    ordo = y;  
    nb_points++;  
}
```

```
int Point::x(void) const { return absc; }
```

```
void Point::move(int incX, int incY) {  
    absc += incX;  
    ordo += incY;  
}
```

```
int Point::nbPoints(void) { return nb_points; }
```

```
int Point::nb_points = 0; // Attribut de classe
```

- Appel méthode \Rightarrow coût d'exécution
- Parfois, dommage d'utiliser un appel de méthode
 - ❑ Pour récupérer la valeur d'un attribut
 - ❑ Pour un traitement simple
- Méthode «*inline*»: développée «comme» une macro
 - ❑ S'applique aussi aux fonctions
- Avantage
 - ❑ Rapidité d'exécution (coût appel + optimisation supplémentaire)

■ Inconvénients

- ❑ Augmentation taille exécutable
 - A utiliser donc sur des méthodes courtes
- ❑ Implémentation dans la partie déclaration de la classe
 - Ou dans un fichier d'entête

■ Implémentation

- ❑ Définition avec la déclaration

```
class Point {  
    ...  
    int x(void) const { return absc; }  
    ...  
};
```

- ❑ Utilisation du mot-clé «*inline*» (indication au compilateur)

```
inline int Point::x(void) const { return absc; }
```

Structure du code source

■ Fichier entête

- ❑ Déclaration de la classe
- ❑ Définition méthodes «*inline*»

```
#ifndef __CLASSE_H__
#define __CLASSE_H__

// includes
// déclarations anticipées

class Classe
{
    // attributs
    // proto méthodes
    // méthodes inline
};
#endif
```

■ Fichier implémentation

- ❑ Définition variables de classe
- ❑ Définitions méthodes

```
#include "classe.h"

// init. des variables
// de classe

// définition des méthodes
// externalisées
```

① Construction

- ❑ Réserveation mémoire
- ❑ Appel d'un constructeur

② Vie

- ❑ Appel des méthodes

③ Destruction

- ❑ Appel du destructeur
- ❑ Libération mémoire

- Rôle: initialiser les objets
- Syntaxe
 - ❑ Même nom que la classe
 - ❑ Pas de type de retour
 - ❑ Surcharge à volonté
 - ❑ Une particularité: la liste d'initialisation

- Exemples

```
Point::Point() {...}
```

```
Point::Point(int x, int y) {...}
```

```
Point::Point(const Point & p) {...}
```

Liste d'initialisation (1/2)

■ Syntaxe

- ❑ *nom_classe*(...) : *liste_initialisation* {...}
- ❑ Liste = *nom_attribut*(*valeur*) , *nom_attribut*(*valeur*) ...
- ❑ Les valeurs peuvent être des expressions
 - Calcul, appel de fonction...

■ Rôle: initialisation des attributs d'un objet

- ❑ Même sans liste, initialisation avant le bloc de code

■ Construction de chacun des attributs

- ❑ Dans l'ordre de déclaration
- ❑ Donc, il faut lister les attributs dans l'ordre de déclaration
- ❑ Si un attribut est omis dans la liste \Rightarrow construction par défaut
- ❑ Les attributs de type référence obligatoirement dans la liste

Liste d'initialisation (2/2)

■ Respecter l'ordre des attributs

```
class Rationnel
{
    private:
        int num;
        int den;

    public:
    Rationnel(int n=0, int d=1)
    : den(d), num(n)
    {}
};
```

Solution

```
Rationnel::Rationnel(int n=0,
                    int d=1)
: num(n), den(d)
{ }
```

■ Initialisation plus complexe

- Ajout d'un attribut *distance*
- Distance du point à l'origine

avec code

```
Point::Point(int x, int y) :
    absc(x), ordo(y)
{
    dist = sqrt(x*x+y*y);
}
```

ou tout dans la liste

```
Point::Point(int x, int y) :
    absc(x), ordo(y),
    dist(sqrt(x*x+y*y))
{ }
```

- Trois types d'allocation (comme en C)
 - Statique: variable globale, variable locale statique
 - Automatique: variable locale sur la pile
 - Dynamique: variable allouée sur le tas
 - `new` = allocation mémoire + appel constructeur
 - `delete` = appel destructeur + libération mémoire

- Gestion mémoire
 - Statique et automatique: par le système
 - Dynamique: par le programmeur

- Moment de la construction
 - ❑ Variables globales: avant l'exécution du «**main**»
 - ❑ Variables locales: à l'entrée dans le bloc
 - Variables locales statiques: à la 1^{ère} entrée
 - ❑ Variables dynamiques: à l'exécution de «**new**»

- Moment de la destruction
 - ❑ Variables statiques: après la sortie du «**main**»
 - Même chose pour les variables locales statiques
 - ❑ Variables locales sur la pile: à la sortie du bloc
 - ❑ Variables dynamiques: à l'exécution de «**delete**»

Méthodes constantes (1/3)

- Utilisation du mot-clé «**const**» en fin de prototype
- Indique les méthodes ne modifiant pas l'objet
 - Qui ne modifient pas les attributs
- Limité aux méthodes d'instance
- Avantages
 - Seules méthodes utilisables sur un objet constant
 - Une méthode «non constante» ne peut pas être exécutée
 - La méthode ne peut pas modifier les attributs
 - Contrôlé à la compilation
- Signification plus subtile
 - «**const**» fait partie de la signature
 - Possibilité de définir deux versions

Méthodes constantes (2/3)

- Définition d'accesseurs (version 1 – recommandée)

```
class Exemple {  
    protected: string s;  
  
    public:  
        const string & getS(void) const { return s; }  
        void setS(const string & x) { s=x; }  
};
```

- Utilisation d'accesseurs

```
Exemple e1;
```

```
const Exemple e2;
```

```
e1.setS("nawouak"); ⇒ ok
```

```
e2.setS("nawouak"); ⇒ problème
```

```
std::cout << e1.getS() << std::endl; ⇒ ok
```

```
std::cout << e2.getS() << std::endl; ⇒ ok
```

Méthodes constantes (3/3)

- Définition d'accesseurs (version 2 – non recommandée)

```
class Exemple {  
    protected: string s;  
  
    public:  
        const string & getS(void) const { return s; }  
        string & getS(void) { return s; }  
};
```

- Utilisation d'accesseurs

```
Exemple e1;  
const Exemple e2;
```

```
e1.getS() = "nawouak"; ⇒ ok
```

```
e2.getS() = "nawouak"; ⇒ problème
```

```
std::cout << e1.getS() << std::endl; ⇒ ok
```

```
std::cout << e2.getS() << std::endl; ⇒ ok
```

- Regrouper un ou plusieurs objets dans un autre = les attributs
- Trois manières d'agréger / trois types d'attributs
 - ❑ Attribut objet: construit en même temps que l'objet
 - ❑ Attribut référence: initialisation obligatoire dans le constructeur
 - Pas de changement par la suite
 - ❑ Attribut pointeur: peut être initialisé n'importe quand
 - Attention à la forme normale de Coplien
 - Si la mémoire de l'attribut est gérée par la classe
- Vie de l'objet agrégé
 - ❑ Objet construit par l'agrégeant
 - Attribut objet ou pointeur
 - ❑ Objet en provenance de l'extérieur
 - Recopie: attribut objet
 - Référence: attribut pointeur ou référence

- Une classe peut hériter d'une ou plusieurs autres
 - ❑ **class** *derivee* : *modificateur mere1*, *modificateur mere2*...
 - ❑ Modificateur \Rightarrow limitation de visibilité
- Visibilité de l'héritage : qui voit l'héritage ?
 - ❑ **public** \Rightarrow tout le monde
 - ❑ **protected** \Rightarrow classes filles uniquement
 - ❑ **private** \Rightarrow classe mère uniquement
 - ❑ Perte du lien de parenté \Rightarrow plus de conversion ascendante
- Visibilité des membres de la classe mère

Visibilité dans classe mère	Visibilité dans classe fille		
	Héritage « public »	Héritage « protected »	Héritage « private »
public	public	protected	private
protected	protected	protected	private
private	private	private	private

- Modificateur d'accès **protected**
 - Visible des classes fille mais pas de l'extérieur
- Utilisation classique de l'héritage
 - Attributs **protected** + héritage **public**
- Passer les attributs **private** en **protected** ?
 - Avantage: accessibles directement
 - Inconvénient: violation de l'encapsulation
 - Problèmes de maintenabilité si héritage en cascade
 - Solution: méthodes protégées pour l'accès aux attributs

- Héritage privé \Rightarrow perte de l'interface
- Utilisation 1: s'approprier l'implémentation
 - Mais l'héritage n'a pas forcément de sens
 - L'agrégation peut être utilisée à la place
 - A éviter donc dans ce but
- Utilisation 2: proposer une nouvelle interface
 - Modéliser un «*wrapper*»
 - Solution possible: l'agrégation
 - Héritage privé \Rightarrow solution sans agrégation

Héritage et polymorphisme (1/2)

- Rendre une méthode polymorphe (virtuelle): **virtual**
 - Virtuelle un jour, virtuelle toujours !
 - Mot-clé «**virtual**» pas nécessaire dans les sous-classes
 - Peut être redéfinie dans les sous-classes

- Classe abstraite en C++
 - Pas de mot-clé
 - Classe abstraite \Rightarrow au moins une méthode abstraite
 - Méthode abstraite = méthode virtuelle pure
 - Pas de code
 - **virtual** *type_retour nom_méthode(arguments) = 0;*
 - Redéfinir impérativement dans les sous-classes
 - Car tant qu'une méthode est abstraite \Rightarrow pas d'instanciation

Héritage et polymorphisme (2/2)

- Appeler l'implémentation de la classe mère
 - `classe_mère::nom_méthode(arguments)`
- Exemple : compléter l'implémentation de la classe mère

```
class Personne {  
    ...  
    virtual void afficher(void) const  
    { cout << nom << " " << prenom; }  
    ...  
};
```

```
class Etudiant : public Personne {  
    ...  
    void afficher(void) const {  
        Personne::afficher();  
        cout << " " << ecole;  
    }  
    ...  
};
```

Héritage et constructeur

- Les constructeurs ne peuvent pas être virtuels
 - Pas d'héritage des constructeurs
 - Mais séquence de construction prédéfinie
- Exemple: B hérite de A
 - Construction B = Construction A, puis construction attributs de B

- `class A {`
 `protected: string s;`

- `public:`
 `A() { s=...; } ⇔ A() : s() { s=...; }`
 `A(const string & ss) : s(ss) {}`
 `};`

- `class B : public A {`
 `protected: string t;`

- `public:`
 `B() { s=...; t=...; } ⇔ B() : A(),t() { s=...; t=...; }`

 `B(const string & ss, const string & tt)`
 `: A(ss),t(tt) {}`
 `};`

- Méthode virtuelle \Rightarrow destructeur virtuel

- Destruction impérativement polymorphe
- Exemple

```
vector<Point *> v;
```

```
...
```

```
for (int i=0; i<v.size(); ++i) delete v[i];
```

- Si destructeur polymorphe

- Appel destructeur sous-classe
- Puis appel destructeur super-classe

- Si destructeur non-polymorphe

- Appel destructeur super-classe \Rightarrow incohérent !

Héritage virtuel (1/2)

- Héritage en diamant

- Duplication des attributs

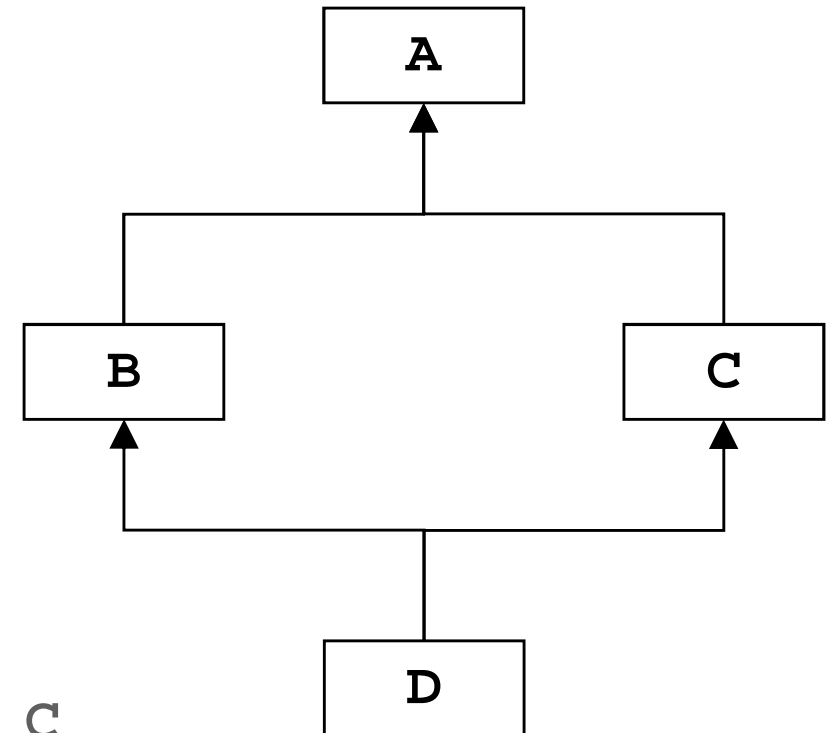
- ❑ `class A`
`{ A(...) {} };`

- `class B : public A`
`{ B(...) : A(...) {} };`

- `class C : public A`
`{ C(...) : A(...) {} };`

- `class D : public B, public C`
`{ D(...) : B(...), C(...) {} };`

- ❑ 2 appels au constructeur de A dans D
⇒ attributs de A dupliqués dans D



- Collision des noms de méthode (ou attribut)

- ❑ Exemple: méthode `A::x()`

- ❑ `D::x()` signifie appel sur l'objet A issu de B ou de C ?

- Distinction possible via `B::x()` ou `C::x()` ou conversion vers `B &` ou `C &`

Héritage virtuel (2/2)

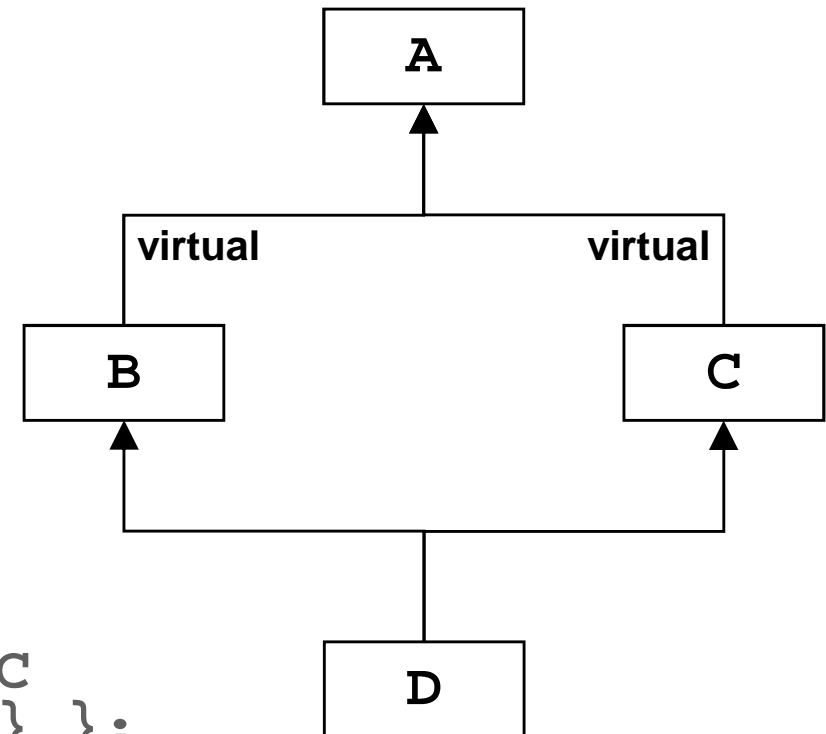
■ Solution: héritage «virtuel»

```
❑ class A  
  { A(...) {} };
```

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

```
class C : virtual public A  
  { C(...) : A(...) {} };
```

```
class D : public B, public C  
  { D(...) : A(...), B(...), C(...) {} };
```



- ❑ Une seule copie de A
- ❑ Appel explicite au constructeur de A dans D
- ❑ Paramètres destinés à A ignorés dans les constructeurs de B et C

■ Autres solutions: héritage d'interfaces ou délégation

Surcharge opérateurs (1/3)

- Constructeurs
 - Constructeur par défaut
 - `A(void);`
 - Constructeur de copie
 - `A(const A &);`
- Affectation (méthode)
 - `A & operator = (const A & x) {
... // Recopie de x dans «this»
return (*this);
}`
 - Retour de l'objet pour chaînage: `a = b = c;`
- Opérations arithmétiques / logiques binaires (fonctions)
 - `A operator + (const A & x, const A & y) {
A resultat;
... // Calcul de x+y
return resultat;
}`
 - `bool operator == (const A & x, const A & y);`

■ Opérations arithmétiques unaires (méthodes)

□ Préfixé

- `A & operator ++ () {
... // Incrémentation de «this»
return *this;
}`

- Retour de l'objet: `a = ++b;`

□ Postfixé

- `A operator ++ (int) {
A copie = *this;
... // Incrémentation de «this»
return copie;
}`

- Retour d'une copie avant incrément: `a = b++;`

■ Opérateurs de flux (fonctions)

□ Ecriture

- `ostream & operator << (ostream & flux, const A & x)`
`{`
 ... // Ecriture de x dans le flux
 `return flux;`
`}`

- Retour du flux: `f << a << b;`

□ Lecture

- `istream & operator >> (istream & flux, A & x) {`
 ... // Lecture du flux dans x
 `return flux;`
`}`

- Ne jamais passer un flux par copie !

■ Autres symboles

- `()`, `[]`, `*`, `,` ...