Programmation orientée objet

POO

Xavier JUVIGNY, AKOU, DAAA, ONERA
xavier.juvigny@onera.fr

Initiation au C++
- 4 Novembre 2023 -

Plan du cours

Overview

Orienté Objets

Programmation orienté objets

- Un style de programmation et une façon de programmer
  - Avec un langage traditionnel ;
  - Avec un langage orienté objets

Programmer avec un langage OO ne fait pas de l'orienté objets

Définition de l'objet

- Un objet contient à la fois des données et des fonctions faisant des traitements sur ces données.
- Autres concepts similaires aux autres méthodes de programmation.
- Un jargon à connaître :

Type	Variable	Valeurs
Classe	Variable	Valeurs/Objets
`class Vecteur;`	`int u; double x;`	`[1.,3.,5.], "Coucou", 23, Vecteur(1.,3.,5.,7.)`

Service vs réalisation

Objectif

- Une valeur qui représente un nuage de points : Un ensemble de couples X et Y, réels
- De nombreuses réalisations sont possibles.

Exemple d'interface

- Un vecteur de X, un autre de Y, même taille
- Un vecteur de couples (X,Y)
- Avec un dictionnaire : Chaque point avec une clef (i, j) et le couple (x, y) en valeur ou un vecteur de X et un vecteur de Y avec une clef par zone, par exemple les $X > 0$, les $X < 0$ et les $X == 0$

- Pour chaque mise en œuvre...
  - Une fonction qui retourne les X, une les Y
  - Donne le nombre de points
  - Une qui donne tous les points, au dessus/au dessous d'un X ou d'un Y, avec une valeur exacte de X

La donnée pilote l'algorithme

Exemple avec choix de réalisation n°1

```
auto coords=std::make_pair(std::vector<double>{100},
                           std::vector<double>{100});
using coordinates=decltype(coords);
auto& y = coords.second;
auto yLowerThan(const coordinates& crds,double val){
  coordinates c;
  std::vector<int> r;
  for ( int i = 0; i < crds.first.size(); ++i) {
    if (crds.second[i] < val ) {
      c.first.push_back(crds.first[i]);
      c.second.push_back(crds.second[i]);
      r.push_back(i);
    }
  }
  return std::make_tuple(c,r);
}
```

Exemple avec choix de réalisation n°2

```
using coordinates=std::vector<std::pair<double,
                                        double>>;
coordinates coords(100);
std::vector<double> y(100);
for (int iy=0; const auto& c : coords )
    y[++iy] = c.second;
auto yLowerThan(const coordinates& crds,double val){
  coordinates c;
  std::vector<int> r;
  for ( int i = 0; i < crds.size(); ++i) {
    if (crds[i].second < val ) {
      c.push_back(crds[i]); r.push_back(i);
    }
  }
  return std::make_tuple(c,r);
}
```

Concrétisation de l'interface

Homogénéité de l'interface

- Divers objets possèdent la même interface :
  - Des objets de même type : réels, entiers, etc.
  - Les listes, les tableaux, les dictionnaires, etc :

```
std::vector<double>  u{ {3.4, 5.8, 1.2} };
std::list<double>    l{ {3.4, 5.8, 1.2} };
std::array<3,double> a{ {3.4, 5.8, 1.2} };

for ( auto& val : u) val *= 0.5;
for ( auto& val : l) val *= 0.5;
for ( auto& val : a) val *= 0.5;

u.push_back(2.);
l.push_back(2.);
```

Mise en œuvre d'une interface

Mise au point de l'interface

Méthode de développement TDD (Test Driven Development) :

- L'interface se conçoit en écrivant les tests de "haut niveau" en premier lieu ;
- On regarde avec le client si l'interface proposé dans les tests correspond à son attente.

Mise au point d'une identité vecteur géométrique

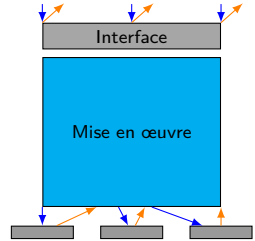
```
#include "vecteur.hpp"

Geometry::Vecteur u{ { 1., 0., 0. } };
Geometry::Vecteur v;
v.x = u.z; v.y = -u.x; v.z = u.y

std::cout << u << " + " << v << " = " << u+v << std::endl;
double nrmSq_u = u.normalize(); double nrmSq_v = v.normalize();
Geometry::Vecteur w = u - (u|v)*v;
```

En premier lieu, bien définir son interface

Conception d'une interface

Interface-1

- Que la partie utilisable de l'objet :
  - Accès aux données pertinentes de l'objet ;
  - Des constantes ;
  - Des fonctions (méthodes) pour manipuler l'objet ;
  - Gestion du comportement ;
- Un exemple : Le téléphone



Conception d'une interface (2)

Fonctions

- `status:int initialize()`
- `value:float currentData(variable:string)`
- `terminate()`

Plusieurs variables pour currentData ?

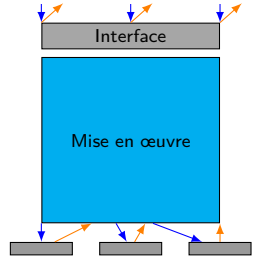
Constantes

- `variables = ["Temperature", "Pressure"]`

Comportement

- créer l'objet
- initialize (commence l'échantillonage)
- currentData (si status est True)
- terminate (arrêt échantillonage)
- détruire l'objet

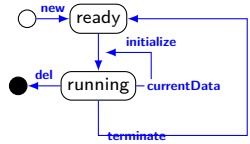
Quid gestion des erreurs ? Bad initialization, Timeout, ...



Conception d'une interface (3)

Comportement

Généralement décrit par un automate.



Interface N+1

Interface utilisant les services offerts par l'interface.
Exemple : Interface visualisation données envoyées par capteurs.

Interface N-1

Interface utilisée (non unique) par l'interface actuelle

- Se traduit en C++ par un `#include`
- Ou par un appel système

Principes de l'OO

L'interface

Les services offerts à l'extérieur du module/bibliothèque

L'encapsulation

Isoler/Cacher les choix de mises en œuvres

La factorisation

Factoriser les services communs au sein de types "abstraits"

- Polymorphisme
- *Héritage*

Mises en œuvre

Réalisable dans tous les langages de programmation.
Les langages OO fournissent des facilités.

Encapsulation

Une unité

Un paquet comprenant tout ce qu'on peut trouver pour installer une bibliothèque/module qui contient :

- des données ;
- des traitements sur les données ;
- mais aussi :
  - des constantes ;
  - traitement des erreurs ;
  - des tests
  - de la documentation
  - la production

Mise en œuvre

Le choix de ce qui est dans l'objet ou pas est arbitraire. Il dépend de l'application. Il n'est pas possible de définir un objet idéal pour toutes les applications. C'est donc différent d'une modélisation mathématique.

OO – Principes – Isolation

Une interface

Les services, les fonctions, les constantes,...

Une réalisation

- La structure interne des valeurs manipulées ;
- La mise en œuvre effective des services.

La règle d'or

Ne pas exposer la réalisation

```
double retrieveCurrentMax( const Capteur& a ) {
    return a.max;
}
```

```
double retrieveCurrentMax( const Capteur& a ) {
    return std::min(a.max, CONST_VAL_MAX);
}
```

```
double retrieveCurrentMax( const Capteur& a ) {
    a.update(); return a.max;
}
```

```
double retrieveCurrentMax( const Capteur& a ) {
    return CONST_VAL_MAX;
}
```

OO – Principes – Factorisation

Si deux objets sont similaires

- Et ont une partie de leurs interfaces commune ;
- Possible de factoriser cette partie de l'interface ;
- Permet d'éviter de la duplication de code
- $\Rightarrow$ facilite la maintenance du code.

Exemple : Les matrices

- Matrice inversible est une matrice carrée (factorisable) ;
- Matrice carrée est une matrice (multipliable par un vecteur) ;
- Matrice est un tableau à deux dimensions
  (accès cœfs par indices ligne/colonne)

Règle à suivre

Si **B** est un sous-ensemble de **A**, alors **b** est au moins un **a**.
Mais... Si je peux rajouter une ligne à une matrice, que doit faire une matrice carrée ?

Principes – Factorisation – 2

Deux grandes règles de base pour les classes

- La factorisation se conçoit sur les objets, puis se formalise sur les classes ;
- La factorisation est arbitraire : elle dépend de l'application visée.

Erreurs traditionnelles de la conception des classes

- Il ne s'agit pas de modéliser le monde !
- Il s'agit seulement de réaliser du code pour une application.

OO - Principes – Factorisation – 3

Règle de base de l'OO

L'encapsulation et son corollaire immédiat et essentiel : **l'interface**

La factorisation

Matrice inversible, matrice carrée, matrice,...

- La factorisation des interfaces donne la hiérarchie des classes ;
- Factoriser seulement les valeurs utilisables ;
- Généralisation
- À ne pas confondre avec la **composition**.

La dérivation

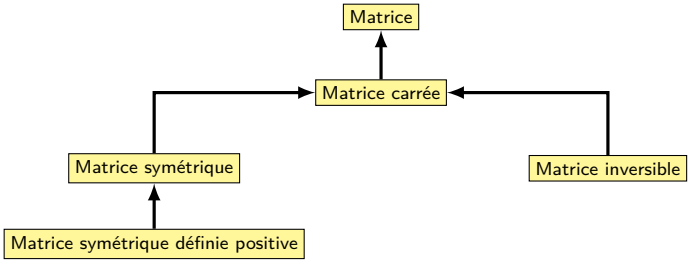
Matrice inversible, matrice symétrique inversible

- Ne dériver que les valeurs utilisables ;
- Spécialisation

Hiérarchie des classes

Factorisation/Dérivation des types

- Forme une arborescence
  - Une matrice carrée est une matrice ;
  - Une matrice symétrique est une matrice carrée ;
  - Une matrice symétrique définie positive est une matrice symétrique ;
  - Une matrice inversible est une matrice carrée ;



Overview

Syntaxe de déclaration de la classe

Déclaration

```
class Vecteur //<--- Déclaration d'un nouveau type Vecteur
{
public: // Partie accessible par une fonction externe à la classe
  Vecteur() = default;//Constructeur par défaut
  void setAsPoint();// Méthode publique de la classe
  double x,y,z;// Attributs publics de la classe
private: // Partie privée accessible uniquement aux méthodes de la classe.
  bool is_point() const; // Méthode privée de la classe
  double w; // Attributs privés de la classe
};
Vecteur u;// <-- Nouvelle variable de type Vecteur faisant appel au constructeur par défaut
u.x = 3.0;//Accès aux attributs publiques de la classe
u.y = 2.0; u.z = 1.0;
u.setAsPoint();// Appel d'une méthode setAsPoint appliquée au vecteur u
```

On a ici définit un constructeur par défaut qui ne fait que réserver la mémoire pour les trois attributs x, y et z

Les constructeurs

Les constructeurs

- Décrit façon d'initialiser variable du type qu'on définit ;
- Il doit être nommé du même nom que le type ;
- Plusieurs constructeurs possibles avec liste d'arguments différents ;

```
class Vecteur {
public:
  Vecteur();// Constructeur par défaut
  // Initialisation du vecteur à partir d'une liste de valeurs
  Vecteur( const std::initializer_list<double>& init_vals );
  Vecteur( double cx, double cy, double cz  );//Initialisation à partir de 3 entiers
  Vecteur( double cx );//Initialisation à partir de 1 réel
  Vecteur( const Vecteur& u ); // Constructeur de copie
  Vecteur( Vecteur&& u ); // Constructeur de déplacement
  ... //D'autres constructeurs si on le souhaite...
};
Vecteur u;                  // Appel au constructeur par défaut
Vecteur v{ {1., 3., -5.} };// Appel construction avec liste d'initialisation
Vecteur w( 3., 4., 2.);  // Appel constructeur avec trois réels
Vecteur z(1.); // Appel contructeur avec un réel
Vecteur y(z);// Appel le constructeur de copie
Vecteur w(std::move(y)); // Appel constructeur de déplacement
```

Les constructeurs

Règles du C++ sur les constructeurs

- Si aucun constructeur déclaré, C++ définit constructeur par défaut sans paramètres, appelant constructeurs par défaut de chaque attribut de la classe ;
- Si non déclaré, C++ définit constructeur de copie et constructeur de déplacement appelant les constructeurs de copie/déplacement de chacun des attributs ;
- Si un des attributs non copiable (respectivement non déplaçable), alors constructeur de copie (resp. de déplacement) automatiquement supprimé ;
- Possible d'appeler un constructeur dans liste d'initialisation (voir plus loin) d'un autre constructeur de la même classe (C++11).

Toujours déclarer les trois constructeurs : celui par défaut (sans paramètre), celui de copie et celui de déplacement, quitte à les déclarer par défaut ou supprimés (voir transparent suivant).

Les constructeurs par défauts

Constructeurs par défaut

- Valable uniquement pour constructeur sans paramètre, copie et déplacement ;
- Rajouter = `default` à la fin de la déclaration ;
- Constructeur par défaut effectue comportement par défaut :
  - Constructeur sans paramêtre : Appelle constructeur sans paramêtre pour chaque attribut. Pour les valeurs de type "basique", valeurs non initialisées.
  - Constructeur de copie : Appelle constructeur de copie pour chaque attribut ;
  - Constructeur de déplacement : Appelle constructeur de déplacement pour chaque attribut.

```
class Vecteur {
public:
  Vecteur()                    = default; // Le tableau m_valeurs sera construit vide
  Vecteur( const Vecteur& u ) = default; // Clone le tableau de u dans Vecteur en construction
        ...
private:
  std::vector<double> m_valeurs;
};
```

Les constructeurs par défauts supprimés

Interdire la création implicite d'un constructeur par défaut

- Le C++ peut définir implicitement des constructeurs par défaut (voir ??) ;
- Et si on ne veut pas que ces constructeurs soient définis ?
- On peut explicitement interdire un constructeur d'être implicitement défini en le déclarant et en rajoutant à la fin de la déclaration = delete ;

```
class Vecteur {
public:
  Vecteur() = default;// Constructeur sans paramétre par défaut
  Vecteur( const Vecteur& u ) = default;//Construction de copie par défaut
  Vecteur( Vecteur&& u ) = delete;//Interdiction de déplacer
      ...
private:
  std::vector<double> m_valeurs;
};
```

Mise en œuvre d'un constructeur

Constructeur en ligne

On peut définir un constructeur dans la déclaration de la classe ⇒ déclaré en ligne (inline)

```
// vecteur.hpp
class Vecteur {
  ...
  //                          initialisation des attributs   ---\
  //                                                           ↓
  Vecteur( const std::initializer_list<double>& vals ) : m_valeurs{vals} {}
  Vecteur( double x, double y, double z );//<--- seulement déclarée !
  ...
  private:
  std::array<double,3> m_valeurs;
};
```

La définition du constructeur doit y être brève !

Mise en œuvre d'un constructeur (suite)

Mise en œuvre d'un constructeur

Pour un constructeur uniquement déclaré au sein de la déclaration de la classe, on peut :

- le définir en ligne dans le fichier de déclaraction (.hpp)

```
// vecteur.hpp après déclaration de la classe
inline Vecteur::Vecteur( double x, double y, double z ) : m_valeurs{} {
  m_valeurs[0] = x; m_valeurs[1] = y; m_valeurs[2] = z;
}
```

- le définir dans le fichier de mise en œuvre (.cpp)

```
// vecteur.cpp
# include "vecteur.hpp"
// Pour toutes méthodes/attributs définis en dehors de la classe :
// Nom de la classe :: Nom de la méthode/attribut
Vecteur::Vecteur( double x, double y, double z ) : m_valeurs{} {
  m_valeurs[0] = x; m_valeurs[1] = y; m_valeurs[2] = z;
}
```

Constructeur de copie/de déplacement

Constructeur de copie

- Pour créer un nouvel objet en copiant les valeurs d'un objet existant ;
- Utilisé implicitement lors passage paramêtre par valeur ou retour par valeur d'une valeur non locale à une fonction

```
class Vecteur {
  ...
  Vecteur( const Vecteur& u ) : m_valeurs(u.m_arr_coefs) {}
  ...
};
```

Constructeur de déplacement

- Créer nouvel objet en y déplaçant valeurs d'un objet existant, ancien objet ne possèdera plus ces données ;
- Utilisé lors du retour par valeur d'une fonction d'une variable locale à cette fonction.

```
class Vecteur {
  ...
  Vecteur( Vecteur&& u ) : m_valeurs(std::move(u.m_valeurs))
  {}
};
```

Destructeur

Déclaration du destructeur

- Permet de définir la façon dont un objet du type de la classe va se détruire ;
- Peut être définit par défaut : appel le destructeur correspondant à chacune des valeurs de l'objet ;
- déclaré avec le même nom que la classe précédé d'un ~.
- Un seul destructeur par classe. Ne possède pas de paramètres ;
- Appelé avant la sortie du bloc de visibilité de l'objet.

```
class Vecteur {
  ...
  ~Vecteur() = default;
};
```

Gestion des exceptions pour les constructeurs (+)

Gestion des exceptions lors de la construction

Utiliser le bloc `try... catch` autour de l'initialisation de l'objet :

```
class Matrix {
public:
  ...
  Matrix( int nrows, int ncols );
  ...
private:
  std::vector<double> m_valeurs;
};
Matrix::Matrix( int nrows, int ncols ) try :
  m_valeurs(nrows*ncols)//<--- Liste initialisation
{ ... // Corps du constructeur.
}
catch(std::bad_alloc& err) {
  ...
  throw std::bad_alloc(errMsg);
}
```

- Impossible de rattraper une exception au sein d'un constructeur ;
- Rattraper une exception pour un constructeur ne peut servir qu'à le reinterpréter et le renvoyer.
- L'objet n'existe pas lors du traitement de l'exception.

Gestion des erreurs dans un constructeur(+)

Exceptions

- Seul moyen propre de signaler les erreurs dans un constructeur ;
- Si une exception est levée, l'objet ne sera **jamais créé** ;
- L'objet est créé uniquement au moment de quitter le constructeur ;
- Exception dans sous-objet (attribut/héritage) : objet non construit ;
- Pour une sous-partie optionelle, utiliser l'idiome de mise en œuvre **Pimpl**.

```
// CapteurPression.hpp
class CapteurPression {
     ...
private:
  PressureSensor m_pressure;
  ThermalSensor  m_thermal ;
  class OptionalSensors;
  std::unique_ptr<OptionalSensors> m_pt_other_sensors;
};
```

```
// CapteurPression.cpp
class CapteurPression::OptionalSensors {
public:
  Clock m_clock;
  HydroSensor m_hydrosensor;
};
...
```

Exercice : nuage de points

Construction d'un nuage de point

- Ecrire classe `NuageDePoints` permettant d'instancer des nuages de N points en 2D, N donné en paramêtre ;
- Mettre des affichages au début de chaque constructeur et destructeur pour tracer l'appel des constructeurs ;
- Tester votre classe à l'aide du programme suivant :

```
# include "nuage_de_points.hpp"
int main() {
    NuageDePoints nuage1(10);
    NuageDePoints nuage2(nuage1);
    NuageDePoints nuage3;
    NuageDePoints nuage4(2, 5, nuage1);// Copie les points 2 à 5 du nuage1.
}
```

- Bonus : Gérer les erreurs lors de la construction d'un nuage à l'aide des exceptions ;
- Bonus : Pouvoir construire un nuage de la manière suivante (nombre de points passés arbitraire) :

```
NuageDePoints nuage5{ Point{1.,0.},Point{1.,1.},Point{0.,1.} };
```

où `Point` est un alias sur `std::array<double,2>`

Les méthodes

Les méthodes

- Fonctions membres de la classe appelables via un objet ;
- Peuvent accèder "directement" aux parties publiques et privées de l'objet appelant la méthode ;
- Ou au travers d'un pointeur spécial `this` pointant sur l'objet ayant appelé la méthode ;

```
class Vecteur {
  ...
  double normalize(); // <--- Déclaration méthode
  ... };
...
double Vecteur::normalize() { // <--- Définition méthode
  double nrm = std::sqrt(m_valeurs[0]*m_valeurs[0] + m_valeurs[1]*m_valeurs[1] +
                         m_valeurs[2]*m_valeurs[2] );
  m_valeur[0] /= nrm; m_valeurs[1] /= nrm; m_valeurs[2] /= nrm;
  return nrm;
}
...
Vecteur u;
...
u.normalize();// <--- u appelle méthode normalize
```

Méthode avec qualificateur const

Qualification const d'une méthode

- Rajout du mot clef `const` à la fin de la méthode à la déclaration et à la définition ;
- Garantit que l'objet ne sera pas modifié (vu de l'extérieur) en appelant cette méthode ;
- Rajout de `mutable` à un attribut pour le modifier dans une méthode const ;
- Les attributs mutables doivent ne pas modifier l'objet vu de l'extérieur (à travers l'interface).

```
class Vecteur { ...
  double normL2() const;// Calcul de la norme L2
  ...
private: ...
  mutable double m_proxy_norm;// <-- Conserve la norme calculée.
                              // Si coefficient modifié, on remet cette norme à -1
};

double Vecteur::sqNormL2() const {
  if (m_proxy_norm < 0.) m_proxy_norm = std::sqrt(...);
  return m_proxy_norm;
}
```

Opérateurs comme méthodes de classe

Les opérateurs

- Possibilité de définir un opérateur comme méthode de classe ;
- Pour opérateur unaire, pas d'arguments. Appliqué à l'objet appelant ;
- Pour opérateur binaire, l'objet appelant se trouve à gauche de l'opérateur.

```
class Vecteur { ...
  Vecteur operator + ( const Vecteur& v ) const; // <--- u+v
  Vecteur operator - () const; // <--- -u
  ...
};
Vecteur Vecteur::operator + ( const Vecteur& v ) const { ... }
Vecteur Vecteur::operator -() const { ... }

Vecteur w = u + v;// <--- idem que w = u.operator + ( v );
Vecteur z = -u;   // <--- idem que z = u.operator - ();
```

Opérateurs de copie/déplacement

Opérateur de copie

- Permet de copier les données d'un objet dans un objet existant ;
- À ne pas confondre avec le constructeur de copie ;
- Défini par défaut si non déclaré ;
- On peut le définir par défaut ou le supprimer (`default`, `delete`) ;
- Utilisé implicitement pour le retour par valeur dans une fonction d'une variable globale.

Opérateur de déplacement

- Permet de déplacer les données d'un objet dans un objet existant ;
- À ne pas confondre avec le constructeur de déplacement ;
- Défini par défaut si non déclaré ;
- On peut le définir par défaut ou le supprimer (`default`, `delete`) ;
- Utilisé implicitement pour le retour par valeur dans une fonction d'une variable locale.

Opérateurs de copie/déplacement

```
class Vecteur { ...
  Vecteur& operator = ( const Vecteur& u ); // <--- Déclaration opérateur de copie
  Vecteur& operator = ( Vecteur&& u ) = delete; // <--- Déclaration opérateur de déplacement supprimé.
  ...
};

Vecteur& Vecteur::operator = ( const Vecteur& u ) {
  if ( this != &u ) { // <--- Si on cherche à copier un objet sur lui-même, on ne fait rien
    ...
  }
  return *this; // On retourne l'objet appelant en référence
}
// On aurait eu un truc semblable pour l'opérateur de déplacement.
```

Constructeur/Opérateur de copie

Utilité du constructeur/opérateur de copie

- Permet de copier explicitement un objet sans le détruire :

```
Vecteur u( v ); // <--- Appel explicite au constructeur de copie
Vecteur w;
w = v; // <--- Appel explicite à l'opérateur de copie
```

- Mais aussi des appels implicites à l'opérateur ou au constructeur :
  - On appel une fonction dont un argument est passé par valeur ;
  - Quand on retourne par valeur un objet non local à une fonction.

```
Vecteur f( Vecteur u, Vecteur& w ) {
  w += u;
  return w;
}

Vecteur w = f(u,v);// Un appel au constructeur de copie et un à l'opérateur de copie
                   // L'appel au constructeur pour u passé par valeur
                   // L'appel à l'opérateur pour recopier le résultat dans w ( copie de v modifié ).
```

Constructeur/Opérateur de déplacement

Utilité du constructeur/opérateur de déplacement

Permet de "voler" les données d'un objet qui ne sera plus utilisé/utilisable par la suite.

- Permet de déplacer les données d'un objet vers un autre explicitement :

```
Vecteur v(std::move(u));// <--- Déplace les données du u dans v via le constructeur
Vecteur w; w = std::move(u); // <--- Déplace les données du u dans w via l'opérateur
```

- Mais aussi des appels implicite lorsqu'une fonction retourne un objet local par valeur

```
std::vector<double> generate_coefs( int seed ) {
  std::vector<double> w;
  ...
  return w;
}

std::vector<double> u = generate_coefs(24);// <--- Effectue un déplacement du vecteur
                                           //      renvoyé dans le vecteur u
```

Opérateurs de flux

Problème

- Permet lire/écrire valeur dans un flux d'entrée/sortie (écran,fichier,etc.) ;
- Objet à droite des opérateurs << et >> !
- Opérateurs doivent accèder partie privée de la classe

```
Vecteur u; ...
std::cout << u << std::endl;
std::ofstream fich("Sauvegarde.dat");
fich << u;      fich.close();
std::ifstream fich2("Sauvegarde.dat");
fich2 >> u;     fich2.close();
```

Solutions

- Déclarer opérateurs de flux amis de la classe (`friend`) : pose problème pour l'héritage... ;
- Déclarer/définir constructeurs/méthodes pour lire/écrire dans un flux ;
- Opérateurs flux utilisent ces constructeurs/méthodes.

```
class Vecteur { ...
  Vecteur( std::istream& inp );
  std::ostream& print( std::ostream& out ) const;
... };
inline std::ostream&
operator << ( std::ostream& out, const Vecteur& u )
     { return u.print(out); }
inline std::istream&
operator >> ( std::istream& inp, Vecteur& u )
    { u = Vecteur(inp); return inp; }
```

Les accesseurs/modifieurs

Accesseurs/modifieurs

- permettent d'accéder/modifier des données de l'objet ;
- En général, doit être défini deux fois : en lecture seule et en lecture/écriture ;
- L'opérateur [] permet d'accéder à un élément (indice multiple uniquement en C++ 23) ;
- L'opérateur () peut aussi servir d'accession à un élément avec un indice multiple ;
- Les itérateurs pour accèder aux éléments séquentiellement ;

```
class Vecteur { ...
  using iterator=double*;
  using const_iterator=double const*;
  double& operator [] ( std::size_t i ) {
    assert(i < 3);  return m_valeurs[i]; }
  const double& operator []( std::size_t i ) const{
    assert(i < 3);  return m_valeurs[i]; }
  iterator begin() { return m_valeurs.data(); }
  const_iterator begin() const {return m_valeurs.data();}
  iterator end() { return m_valeurs.data() + 3; }
  const_iterator end() const {return m_valeurs.data() + 3;}
...};
```

Usage

```
Vecteur a{{1.,3.,5.}};
a[2] = 4.;
double c = a[1];
// Utilisation des itérateurs
for ( auto& c : a ) c += 1.5;
for ( auto iter = a.begin();
      iter != a.end();  ++iter )
  *iter = *iter / 2;
```

Cas moins trivial (+)

```
class Matrix {
  class iterator {
    iterator( Matrix& mat, int i, int j)
      : m_ref_mat(mat),
        m_pt_coef(mat.data()+i*mat.nbColumns()+j),
        m_irow(i), m_jcol(j) {}
    iterator( const iterator& it )  = default;
    iterator( iterator&& it ) = default;
    ~iterator() = default;

    bool operator != (const iterator& it) const {
      return m_pt_coef != it.m_pt_coef;
    }
    iterator& operator ++() {
      ++m_pt_coef;
      ++m_jcol;
      if (m_jcol > mat.nbColumns()) {
        m_jcol = 0;
        ++m_icol;
      }
    }
    double& operator * () const {
      return *m_pt_coef;
    }
  };
  class const_iterator {
    ... // Programmation similaire à iterator
  };
  Matrix(...);
  ...
  iterator& begin() {return iterator(*this, 0, 0);}
  iterator& end  ()
  { return iterator(*this, nbRows(), 0); }
  ...
};
```

Les opérateurs de conversion

Convertir un objet en une instance de sa classe

- Simplement déclarer et définir un constructeur prennant le type d'objet à convertir en argument

```
class Algebra::Vecteur {
public: ...
  // Permet de convertir un tableau dynamique en Vecteur algébrique
  Vecteur( const std::vecteur<double>& arr ) : ... { ... }
... };
std::vector<double> arr; ...
Algebra::Vecteur u(arr);// Convertit arr en vecteur algébrique
```

- La conversion implique des copies ! (mais difficile de faire autrement ...)

Convertir une instance de sa classe en un autre type d'objet

Supposons qu'on veut convertir une instance de type A en une instance de type B

- Soit la classe B est une classe conçue par le programmeur : on revient au cas plus haut en intervertissant A et B ;
- La classe B est une classe d'une librairie extérieure : impossible de modifier la classe B !
- Utiliser les opérateurs de conversion : `operator Type()` en méthode de classe où `Type` est le nom du type dans lequel on veut convertir l'objet ;
- Permet aussi de supprimer des interdépendances.

Opérateur de conversion

Conversion matrice pleine et matrice creuse

```
// SparseMatrix.hpp
class SparseMatrix { ... };
```

```
// PlainMatrix.hpp
# include "SparseMatrix.hpp"
class PlainMatrix {// Convertion creuse -> pleine
  PlainMatrix( const SparseMatrix& spMat );
  // Convertion pleine -> creuse.
  operator SparseMatrix(); ... };
```

- Si on avait définit deux constructeurs de conversion : un pour `PlainMatrix`, l'autre pour `SparseMatrix`, on aurait introduit une interdépendance, difficile à gérer à la production ;
- Ici, `SparseMatrix` n'a pas connaissance de l'existence de `PlainMatrix` ;

Conversion Vecteur algébrique à tableau dynamique

```
class Vecteur {// Conversion en tableau dynamique.
  explicit operator std::vector<double>() const;
  ...
  };
```

- Ici, pas le choix, on ne peut modifier la librairie `vector`, donc uniquement un opérateur de conversion possible.

Attributs et méthodes de classe

Attribut de classe

- Donnée associée à une classe et non à des valeurs du type de la classe ;
- Peut-être accéder sans valeurs du type de la classe

```
namespace Parallel {
  class Context {
  public: ...
      static Communicator global_com;
      ...
  };
  Communicator Context::global_com{};
```

Méthode de classe

- Méthode associée à la classe et non pas à une instance de classe.

```
class Context { ...
public:
  static std::shared_ptr<Context> get() {
    if (glob_ptr == nullptr)
      glob_ptr = std::make_shared<Context>();
    return glob_ptr;
  }
private:
  Context() { ... };
  static std::shared_ptr<Context> glob_ptr;
};
```

Exercice : Nuage de points (suite)

Rajout d'opérateurs

- Rajouter les opérateurs de copie/déplacement
- Accéder au i^e point p_i pour le lire/modifier ;
- Rajouter les opérateurs adéquats pour que le test suivant fonctionne :

```
CloudOfPoints cop1, cop2;
...
CloudOfPoints cop3 = cop1 + cop2;// cop3 = fusion de cop1 et cop2
Point tr{1.,0.};
cop3 += tr; // Translation des points par le vecteur tr
// Affiche nombre de points et les 1ers et derniers points...
std::cout << "cop3 : " << std::string(cop3) << std::endl;
// Sauvegarde le nuage de points :
ifstream fich("cloud.dat"); fich << cop3; fich.close();
```

Rajout de méthodes

- Rajouter une méthode donnant le nombre de points,
- Pouvoir itérer sur les points du nuage ;
- Calculer le point barycentre du nuage de point.

L'héritage

Quand utiliser l'héritage

- Traduit une relation "être" : une matrice symétrique **est** une matrice carrée ;
- Sert lorsqu'on veut factoriser des services communs à plusieurs types d'objets ;
- Sert pour spécialiser un type d'objet ;
- Ne pas confondre avec l'aggrégation ;
- Le choix de hiérarchie des classes est guidée par l'application visée.

Exemple de spécialisation : Vecteur algébrique

```
namespace Algebra {
  class Vecteur : public std::vector<double>
  {// Vecteur a accès à tous les services d'un std::vector
   //  + d'autres services fournis dans la classe
    Vecteur();
    Vecteur( std::size_t dim );
    ...
    // Spécialisation en vecteur algébrique
    Vecteur operator + ( const Vecteur& u ) const;// Addition de deux vecteurs...
    ...
  }; }
```

Héritage par factorisation

Héritage matrices

```
class Quadrilatere {
public:
  ...
  double calculAire() const { return 0; }
};
class Rectangle : public Quadrilatere {
  ...
  double calculAire() const
  { return m_length * m_height; }
private:
  double m_length, m_height;
};
class Square : public Quadrilatere {
  ...
  double calculAire() const {
    return m_length * m_length;
  } };
```

- On ne sait pas calculer l'aire d'un quadrilatère quelconque ;
- Ça ne marche pas :

```
double addAire( Quadrilatere a,
                Quadrilatere b ) {
  return a.calculAire()+b.calculAire();
}
int main() {
  Square c(3.0);
  Rectangle r(2.0,3.0);
  std::cout << c.calculAire() << "+"
            << r.calculAire() << "="
            << addAire(c,r) << std::endl;
  return EXIT_SUCCESS;
}
```

sort à l'exécution :

```
9 + 6 = 0
```

Pourquoi ça ne marche pas ?

Passage des arguments par valeur

- On copie les objets passés en argument en tant que `Quadrilatere` ;
- Le véritable type de l'objet passé en paramètre est oublié ;
- Dans la fonction on ne manipule plus que des copies de ces objets en tant que `Quadrilatere`.
- Solution : Passer les arguments par références sur des objets constants.

Appel "statique" à une méthode

- En C++, pour raison d'efficacité, le compilateur essaie de décider quelle fonction appelée à la compilation ;
- C'est le cas pour toutes les méthodes déclarées "normalement" ;
- Ici, il voit qu'on manipule des objet de type `Quadrilatere`, il décide donc à la compilaton d'appeler la méthode `calculAire` de la classe `Quadrilatere`
- Solution : Pour que la méthode appelée soit choisie dynamiquement en fonction des objets passés, il faut précéder la déclaration de la méthode du mot clef `virtual` ;
- Une méthode virtuelle redéfinie dans une classe fille doit posséder la même signature que la fonction virtuelle de base ;
- Seul le type de retour peut changer à condition qu'il soit un pointeur ou une référence et que l'objet renvoyé hérite de l'objet renvoyé dans la classe mère ;
- Dans beaucoup d'autres langages, les fonctions sont par défaut virtuelles (Python, Java...).

Héritage par factorisation (suite)

Héritage matrices

```
class Quadrilatere {
public:
  ...
  virtual double calculAire() const { return 0; }
};
class Rectangle : public Quadrilatere {
  ...
  virtual double calculAire() const override
  { return m_length * m_height; }
private:
  double m_length, m_height;
};
class Square : public Quadrilatere {
  ...
  virtual double calculAire() const final {
    return m_length * m_length;
  }
```

- `override` : Vérifie qu'on redéfinit bien méthode virtuelle de la classe mère ;
- `final` : Idem qu'override + interdiction redéfinition dans classes filles ;
- Ça marche ! :

```
double addAire( const Quadrilatere& a,
                const Quadrilatere& b ) {
  return a.calculAire()+b.calculAire();
}
int main() {
  Square c(3.0); Rectangle r(2.0,3.0);
  std::cout << c.calculAire() << "+"
            << r.calculAire() << "="
            << addAire(c,r) << std::endl;
  return EXIT_SUCCESS; }
```

sort à l'exécution :

```
9 + 6 = 15
```

Fonctions virtuelles pures

Problématique

- Que mettre dans la fonction `calculAire` de `Quadrilatere` ?
- En fait, ne connaissant pas à ce niveau le type de quadrilatère, on ne sait pas calculer l'aire ;
- On définit une **fonction virtuelle pure** : la fonction n'est que déclarée et on devra la surcharger dans les classes dont on instanciera effectivement des objets ;
- La classe `Quadrilatere` devient une **classe abstraite** : on ne peut instancier directement des objets de cette classe ;
- Toute classe héritant directement ou indirectement (au travers une hiérarchie d'héritage) d'une classe abstraite devient *concrète* que si toutes les méthodes virtuelles pures ont été définies dans la classe ou dans la hiérarchie de classe dont elle hérite.

```
class Quadrilatere { ...
  // Déclaration méthode virtuelle pure
  virtual double calculAire() const = 0;
};
...
int main() {
  Quadrilatere q;// Erreur à la compilation !
  return 0;
}
```

Conception par contrat

Carré/Rectangle : une autre hiérarchie de classe ?

- Pourquoi ne pas avoir spécialisé la classe `Rectangle` en classe `Carre` ?
- Le rectangle doit stocker sa longueur et sa hauteur, le carré que sa longueur ;
- Méthodes pour changer la longueur/hauteur du rectangle : un carré ne vérifiera plus l'égalité de la hauteur et de la longueur en poscondition de ces méthodes...
- Alors pourquoi ne pas dire qu'un rectangle hérite du carré ?
- Conception peut naturelle mais qui supprime le problème des attributs ;
- On peut passer un rectangle en tant que carré dans fonctions dont pré-condition d'entrée est que longueur égale à hauteur.
- Notre précédente hiérarchie de classe ne posait pas ces problèmes...

Conception par contrat

- Méthode proposée par Bertrand Meyer pour son langage Eiffel ;
- **Pré-condition sur les objets** : une condition que doit vérifier les données d'un objet à l'entrée d'une méthode/fonction ;
- **Post-condition sur les objets** : une condition que doit vérifier les données d'un objet à la sortie d'une fonction.
- Règle pour s'assurer d'avoir un héritage cohérent :
  - **Pré-conditions** des objets de classe héritée doivent contenir préconditions héritées de classe fille ;
  - **Post-conditions** des objets de classe héritée doivent être contenues dans postconditions héritées de classe fille ;

Le destructeur

Destructeur non virtuel

```
class A { ...
  ~A() { std::cout << "~A" << std::endl; }
... };
class B : public A { ...
  B(int n) : m_coefs(n) {}
  ~B() { std::cout << "~B" << std::endl; }
  std::vector<double> m_coefs; ... };
int main() { auto pt_a = std::make_unique<B>(10);
             return EXIT_SUCCESS; }
```

Affichage à l'exécution

```
~A
```

- Seul destructeur de A appelé : tableau jamais détruit.
- Appel destructeur statique,selon type pointé, et non type objet.

Destructeur virtuel

```
class A { ...
  virtual ~A() {std::cout << "~A" << std::endl;}
... };
class B : public A { ...
  B(int n) : m_coefs(n) {}
  ~B() { std::cout << "~B" << std::endl; }
  std::vector<double> m_coefs; ... };
int main() { auto pt_a = std::make_unique<B>(10);
             return 0; }
```

Affichage à l'exécution

```
~B
~A
```

- Appelle bon destructeur (qui appelle aussi celui de A) ;
- Appel destructeur dynamique, dépend type pointé.

Héritage et opérateurs de copie

Opérateur de copie

```
class Quadrilatere{
  ...
  virtual Quadrilatere& operator = ( const Quadrilatere& ) = 0; };
class Carre : public Quadrilatere {
  virtual Carre& operator = ( const Quadrilatere& r ); };
```

- Plusieurs problèmes :
  - Dans l'argument de copie de la classe `Carre` on peut passer un rectangle ou tout autre objet héritant de `Quadrilater`...
  - En détectant le type d'objet passé en argument, on va très vite arriver à une combinaison exponentielle.
- Solution : Ne pas utiliser l'opérateur de copie mais une méthode `clone`/`copy` comme en Java ou en Python.

Héritage et opérateurs arithmétiques

Opérateurs arithmétiques

- Impossible de les définir dans la classe de base si ils doivent renvoyer une valeur du type de la classe de base. Il faut passer par des méthodes prenant en argument les deux arguments d'entrée et la sortie.
- On pourra alors définir les opérateurs arithmétiques dans les classes concrètes ;
- Attention cependant au nombre de combinaison...

```
class Matrice {
  ...
  virtual Vecteur operator * ( const Vecteur& u ) const = 0;// OK
  Matrice operator + ( const Matrice& mat ) const = 0;// Impossible, Matrice est une classe abstraite
  virtual void add( const Matrice& mat, Matrice& resMat ) const = 0;// OK
  ... };
```

Nuage de points (suite et fin)

Différents nuages

- On veut créer différentes sortes de nuages de points : un représentant des pressions, d'autres des champs de vitesse à des endroits mesurés par des capteurs et un nuage qui représente des particules physique (de poussière par exemple) qui seront convectés par le champs de vitesse...
- Pour chacun de ces nuages de points, on voudrait pouvoir calculer la pression, la vitesse ou la position moyenne du nuage ;
- Convecter les particules à l'aide du champs de vitesse ;
- Afficher sous forme de chaîne de caractère chaque nuage à l'écran avec ses valeurs associées.