TP Programmation C/C++

Les structures de données

Éléments de cours

Sommaire

Types composés

Les types composés permettent de regrouper des variables au sein d'une même entité :

– Il est possible de regrouper des variables de types différents dans des **structures de données** ;
– Il est possible de regrouper des variables de types identiques dans des **tableaux**.

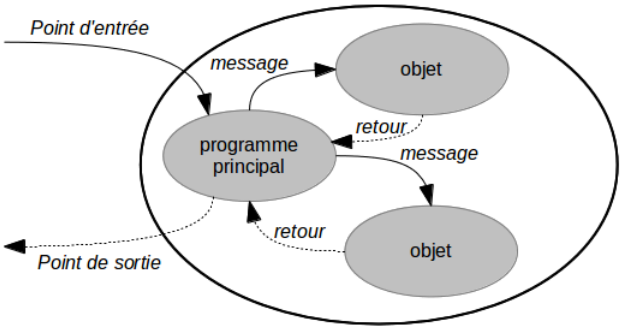
✍ *Une chaîne de caractères peut être considérée comme un type composé.*

En C, on dispose de trois types de structures de données :

– les structures (`struct`)
– les unions (`union`)
– les champs de bits

Le C++ ajoute la notion de type **classe** qui permet de réaliser des programmes orientés objet (POO). La classe est le modèle (le « moule ») pour créer des objets logiciels.

✍ *En POO, un programme est vu comme un ensemble d'objets interagissant entre eux en s'échangeant des messages.*



Structures

➟ *Besoin : Il est habituel en programmation d'avoir besoin d'un mécanisme permettant de grouper un certain nombre de variables de types différents au sein d'une même entité.*

Exemple : On travaille par exemple sur un fichier de personnes et on voudrait regrouper une variable de type chaîne de caractères pour le nom, une variable de type entier pour le numéro d'employé, etc.

La réponse à ce besoin est le concept d'**enregistrement** : un enregistrement est un ensemble d'éléments de types différents repérés par un nom. Les éléments d'un enregistrement sont appelés des **champs**.

En langage C, on utlise le vocabulaire suivant :

– enregistrement → **structure**
– champ d'un enregistrement → **membre** d'une structure

Une **structure** est donc un **objet agrégé comprenant un ou plusieurs membres** d'éventuellement différents types que l'on regroupe sous un seul nom afin d'en faciliter la manipulation et le traitement.

Chacun des membres peut avoir n'importe quel type, y compris une structure, à l'exception de celle à laquelle il appartient.

Déclaration de structure

Il y a plusieurs méthodes possibles pour déclarer des structures.

```
struct [etiquette]
{
   type champ_1;
   ...
   type champ_n;
} [identificateur];
```

Pour déclarer une structure, on utilise le mot clé `struct` suivi d'une liste de déclarations entre accolades. Il est possible de faire suivre le mot `struct` d'un nom baptisé etiquette de la structure. Cette etiquette désigne alors cette sorte de structure et, par la suite, peut servir pour éviter d'écrire entièrement toute la déclaration. Il est aussi possible d'instancier directement une variable de nom `identificateur`.

```
// Déclaration d'une type struct Date :
struct Date
{
   int   jour;
   int   mois;
   int   annee;
};

// Instanciation d'une variable de type struct Date :
struct Date dateNaissance;

// Ou directement :
struct
{
   int   jour;
   int   mois;
   int   annee;
} dateDeces; // dateDeces est une variable de type structuré
```

Exemple de déclaration d'un type structuré

En C, le type s'appelle en fait `struct Date`. On préfère souvent créer un **synonyme** avec `typedef` :

```
// Déclaration d'une type struct Date :
struct Date
{
   int   jour,
         mois,
         annee;
};

// Création d'un type synonyme :
typedef struct Date Date;

// Ou directement :
typedef struct
{
   int   jour,
         mois,
         annee;
```



```
} Date;

// Une variable de type Date :
Date dateNaissance;
```

Un synonyme de type structuré

✍ *En C++, ce synonyme est créé naturellement avec la structure. Le* ***typedef*** *est donc inutile dans ce langage.*

Initialisation d'une structure

Comme pour les tableaux, les accolades peuvent être utilisées pour indiquer les valeurs initiales des membres d'une variable de type structuré. Cela ne fonctionne qu'à l'initialisation.

☮ Ce n'est pas utilisable pour une affectation.

```
// Une variable de type Date :
Date naissanceMarie = {7, 11, 1867}; // initialisation de la structure naissanceMarie

printf("La structure struct Date occupe une taille de %d octets\n", sizeof(struct Date));
```

Initialisation d'une structure

✍ *La taille d'une structure est la somme des tailles de tous les objets qui la compose (cf.* ***sizeof()****). Dans notre exemple, la structure aura une taille de* 3×4 *(****int****) soit 12 octets.*

Accès aux membres

Pour accéder aux membres d'une structure, on utilise :

– l'opérateur d'accès . (point) pour une variable de type structuré :

```
Date naissanceMarie = {7, 11, 1867}; // initialisation de la structure naissanceMarie

printf("Marie Curie est née le %02d/%02d/%4d\n", naissanceMarie.jour, naissanceMarie.mois,
    naissanceMarie.annee);
```

– l'opérateur d'indirection -> (flèche) pour un pointeur sur un type structuré :

```
struct Date naissanceMarie = {7, 11, 1867}; // initialisation de la structure
   naissanceMarie
struct Date *p_naissanceMarie = &naissanceMarie;

printf("Marie Curie est née le %02d/%02d/%4d\n", p_naissanceMarie->jour, p_naissanceMarie
   ->mois, p_naissanceMarie->annee);

// Ou :
printf("Marie Curie est née le %02d/%02d/%4d\n", (*p_naissanceMarie).jour->jour, (*
   p_naissanceMarie).mois, (*p_naissanceMarie).annee);
```

Affectation de structure

Il suffit d'accéder aux membres d'une structure pour leurs affecter une valeur.


```
struct Date naissanceMarie = {7, 11, 1867}; // initialisation de la structure naissanceMarie
struct Date uneDate;

// Quelques affectations :
uneDate.jour = 1;
scnaf("%d", &uneDate.mois);
uneDate.jour = naissanceMarie.annee;
```

Il est aussi possible d'affecter des structures de même type entre elles :

```
struct Date naissanceMarie = {7, 11, 1867};
struct Date copie;

copie = uneDate;
```

Dans ce cas, les valeurs sont copiées.

Ainsi, lorsque vous prenez une structure en paramètre d'une fonction, la valeur donnée à l'appel de la fonction est copiée dans l'emplacement mémoire du paramètre. Le paramètre a ainsi son propre emplacement mémoire. Si la structure est très grosse, appeler la fonction va donc nécessiter un espace supplémentaire, et une copie qui peut prendre du temps. Pour éviter cela, on pourra utiliser un **passage par adresse** en C/C++ ou **par référence** en C++.

☮ Aucune comparaison n'est possible sur les structures, même pas les opérateurs `==` et `!=`.

Tableaux de structures

Une déclaration de tableau de structures se fait selon le même modèle que la déclaration d'un tableau dont les éléments sont de type simple :

```
struct Date t[100]; // 100 éléments de type struct Date

// Ou :
Date t[100]; // 100 éléments de type Date

// Chaque élément du tableau est de type Date :
for(i=0<100;i++)
   printf("%02d/%02d/%4d\n", t[i].jour, t[i].mois, t[i].annee);
```

Liste de structures

Une des utilisations fréquentes des structures, est de créer des listes de structures chaînées. Pour cela, il faut que chaque structure contienne un membre qui soit de type **pointeur** vers une structure du même type. Cela se fait de la façon suivante :

```
struct personne
{
   ... /*  les différents membres */

   struct personne *suivant;
};
```

✍ *La dernière structure de la liste devra avoir un membre suivant dont la valeur sera le pointeur* `NULL` *pour indiquer la fin.*

Quand on crée une liste chaînée, on ne sait généralement pas à la compilation combien elle comportera d'éléments à l'exécution. Pour pouvoir créer des listes, il est donc nécessaire de pouvoir allouer de l'espace dynamiquement :

```c
#include <stdlib.h>

struct personne *p;

// Allocation :
p = malloc(sizeof(struct personne));

// Libération :
free(p);
```

Allocation dynamique d'une structure

Union

➟ *Besoin : Il est parfois nécessaire de manipuler des variables auxquelles on désire affecter des valeurs de type différents.*

Une **union** est conceptuellement identique à une structure mais peut, à tout moment, contenir n'importe lequel des différents champs.

Une union définit en fait **plusieurs manières de regarder le même emplacement mémoire**. A l'exception de ceci, la façon dont sont déclarés et référencées les structures et les unions est identique.

```c
union [etiquette] {
   type champ_1;
   ...
   type champ_n;
} [identificateur];
```

Exemple : On va déclarer une `union` pour conserver la valeur d'une mesure issue d'un capteur générique, qui peut par exemple fournir une mesure sous forme d'un `char` (-128 à +127), d'un `int` (-2147483648 à 2147483647) ou d'un `float`. `valeurCapteur` pourra ,à tout moment, contenir SOIT un entier, SOIT un réel, SOIT un caractère.

```c
union mesureCapteur
{
   int   iVal;
   float fVal;
   char  cVal;
} valeurCapteur;
```

✍ *La taille mémoire de la variable* ***`valeurCapteur`*** *est égale à la taille mémoire du plus grand type qu'elle contient (ici c'est* ***`float`****).*

```c
#include <stdio.h>
typedef union mesureCapteur
{
   int   iVal;
   float fVal;
   char  cVal;
} Capteur;
```



```
int main()
{
   Capteur vitesseVent, temperatureMoteur, pressionAtmospherique;
   pressionAtmospherique.iVal = 1013; /* un int */
   temperatureMoteur.fVal = 50.5; /* un float */
   vitesseVent.cVal = 2; /* un char */

   printf("La pression atmosphérique est de %d hPa\n", pressionAtmospherique.iVal);
   printf("La température du moteur est de %.1f °C\n", temperatureMoteur.fVal);
   printf("La vitesse du vent est de %d km/h\n", vitesseVent.cVal);

   printf("Le type Capteur occupe une taille de %d octets\n", sizeof(Capteur));

   return 0;
}
```

Utilisation d'une ***union***

L'exécution du programme d'essai permet de vérifier cela :

```
La pression atmosphérique est de 1013 hPa
La température du moteur est de 50.5 °C
La vitesse du vent est de 2 km/h

Le type Capteur occupe une taille de 4 octets
```

Champs de bits

➟ *Besoin : Il est parfois nécessaire pour un programmeur de décrire en termes de bits la structure d'une information.*

Les **champs** de bits ("Drapeaux" ou "*Flags*"), qui ont leur principale application en informatique industrielle, sont des **structures** qui ont la possibilité de regrouper (au plus juste) plusieurs valeurs. La taille d'un champ de bits **ne doit pas excéder celle d'un entier**. Pour aller au-delà, on créera un deuxième champ de bits.

On utilisera le mot clé `struct` et on donnera le type des groupes de bits, leurs noms, et enfin leurs tailles :

```
struct [etiquette]
{
   type champ_1 : nombre_de_bits;
   type champ_2 : nombre_de_bits;
   [...]
   type champ_n : nombre_de_bits;
} [identificateur];
```

Si on reprend le type structuré `Date`, on peut maintenant décomposer ce type en trois groupes de bits (`jour`, `mois` et `annee`) avec le nombre de bits suffisants pour coder chaque champ. Les différents groupes de bits seront tous accessibles comme des variables classiques d'une structure ou d'une union.

```
struct Date
{
  unsigned short jour : 5; // 2^5 = 0-32 soit de 1 à 31
  unsigned short mois : 4; // 2^4 = 0-16 soit de 1 à 12
```



```
  unsigned short annee : 7; // 2^7 = 0-128 soit de 0 à 99 (sans les siècles)
};

int main (int argc, char **argv)
{
   struct Date naissanceRitchie = {9, 9, 41};
   struct Date naissanceThompson = {4, 2, 43};
   struct Date mortRitchie = {12, 10, 11};

   printf("Dennis Ritchie est né le %02d/%02d/%2d\n", naissanceRitchie.jour,
      naissanceRitchie.mois, naissanceRitchie.annee);
   printf("Dennis Ritchie est mort le %02d/%02d/%2d\n\n", mortRitchie.jour, mortRitchie.mois
      , mortRitchie.annee);
   printf("Ken Thompson est né le %02d/%02d/%2d\n", naissanceThompson.jour,
      naissanceThompson.mois, naissanceThompson.annee);

   printf("La structure champs de bits date occupe une taille de %d octets\n", sizeof(struct
       date));
   return 0;
}
```

Le champ de bits `Date`

✍ *Il est autorisé de ne pas donner de nom aux champs de bits qui ne sont pas utilisés.*

L'exécution du programme d'essai permet de vérifier cela :

```
Dennis Ritchie est né le 09/09/41
Dennis Ritchie est né le 09/09/41
Dennis Ritchie est mort le 12/10/11
Ken Thompson est né le 04/02/43

La structure champs de bits date occupe une taille de 2 octets
```

✍ *La taille mémoire d'une variable de ce type sera égale à 2 octets (5 + 4 + 7 = 16 bits).*

Classes et objets

➠ *Besoin : Il est intéressant de pouvoir représenter une entité du monde physique, comme une voiture, une personne ou encore une page d'un livre, sous la forme d'une structure comprenant des données et un comportement.*

Un **objet** est caractérisé par le rassemblement d'un ensemble de **propriétés** (constituant son **état**) et d'un **comportement** :

- La notion de propriété est matérialisée par un **attribut** qui est une variable locale membre d'un objet
- La notion de comportement est matérialisée par un ensemble de **méthodes** qui sont ses fonctions membres

Une **classe** déclare des propriétés communes à un ensemble d'objets. Elle représente donc une catégorie d'objets.

Exemple : un objet lampe

- Une lampe est caractérisée par :
  - sa **puissance** (une **propriété** ➟ un **attribut**)
  - le **fait qu'elle soit allumée ou éteinte** (un **état** ➟ un **attribut**)
- Au niveau **comportement**, les **actions possibles** sur une lampe sont :
  - l'**allumer** (une **méthode**)
  - l'**éteindre** (une autre **méthode**)

✍ *Les langages orientés objets les plus utilisés sont : C++, C#, Java, PHP, Python, ...*

Déclaration d'une classe

Déclarer une classe revient à créer un nouveau **type** (un *moule*) à partir duquel il sera possible de créer des objets.

Pour déclarer une classe, on utilise le mot clé `class` (le mot clé `struct` est autorisé) suivi d'une liste de déclarations entre accolades :

```
class etiquette
{
   [private|public|protected:]
      type attribut_1;
      ...
      type attribut_n;

      [type] methode_1([type parametre_1, ...]);
      ...
      [type] methode_n([type parametre_1, ...]);
};
```

```
class Point
{
   double x, y; // des attributs : nous sommes des propriétés de la classe Point
   void afficher(); // une méthode : je suis un comportement de la classe Point
};
```

Une classe Point

☞ *Il existe d'autres formes de déclaration notamment pour l'héritage que l'on verra plus tard.*

Le C++ permet de préciser le **type d'accès aux membres** (**attributs** et **méthodes**) d'un objet. Cette opération s'effectue au sein des classes de ces objets :

- **Accès `public` :** on peut utiliser le membre de n'importe où dans le programme.
- **Accès `private` :** seule une fonction membre de la même classe peut utiliser ce membre ; il est invisible de l'extérieur de la classe.
- **Accès `protected` :** ce membre peut être utilisé par une fonction de cette même classe, et pas ailleurs dans le programme (ressemble donc à `private`), mais il peut en plus être utilisé par une classe dérivée.

```
class Lampe
{
    private: // des membres privés à la classe
        int puissance;
        bool estAllumee;
```



```
    public: // des membres publiques
        void allumer();
        void eteindre();
};
```

Déclaration de la classe Lampe

✍ *Comme pour les autres déclarations, celle d'un type* `class` *se fera dans un fichier d'en-tête (*`.h`*) dont le nom est généralement celui de la classe (par exemple* `lampe.h`*).*

En résumé, une classe est une structure C avec des fonctions dedans (ou pas).

✍ *En fait, en C++, même les* `struct` *sont des classes. La seule différence entre* `struct` *et* `class` *en C++ est que les membres de* `struct` *sont* `public` *par défaut et* `class`, `private`.

Définition d'une classe

La définition d'une classe revient à définit l'ensemble de ses méthodes. On doit faire précéder chaque méthode de l'opérateur de résolution de portée :: précédé du nom de la classe (`Lampe`) pour préciser au compilateur que ce sont des membres de cette classe :

```
void Lampe::allumer()
{
   estAllumee = true;
}

void Lampe::eteindre()
{
   estAllumee = false;
}
```

Définition de la classe Lampe

✍ *Comme pour les autres définitions, celle d'un type* `class` *se fera dans un fichier source (*`.cpp`*) dont le nom est généralement celui de la classe (par exemple* `lampe.cpp`*).*

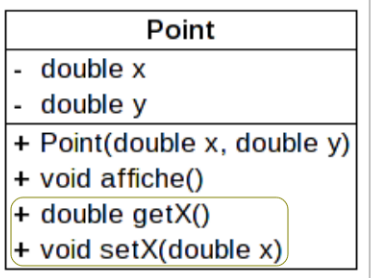
Notion d'encapsulation

L'encapsulation est l'idée de **protéger l'accès aux variables** contenues dans un objet et de ne proposer que des méthodes pour les manipuler. En respectant ce principe, toutes les variables (les attributs) d'une classe seront donc privées.

L'objet est ainsi vu de l'extérieur comme une "boîte noire" possédant certaines propriétés et ayant un comportement spécifié (les méthodes). L'ensemble des méthodes publiques forme l'interface. C'est le comportement d'un objet qui modifiera son état.

Il faut donc créer des **méthodes publiques** pour **accéder** aux **attributs privés** :

UML



C++

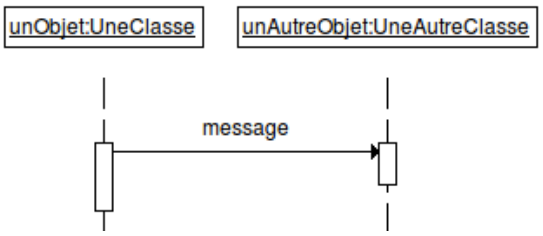
```cpp
class Point
{
   private:
      double x, y;

   public:
      Point(double x, double y);
      void affiche();
      double getX() const;
      void setX(double x);

};

// L'accesseur get du membre x
double Point::getX() const
{
   return x;
}

// Le manipulateur set du membre x
void Point::setX(double x)
{
   this->x = x;
}
```

La méthode `getX()` est déclarée constante (`const`). Une méthode constante est tout simplement une méthode qui ne modifie aucun des attributs de l'objet. Il est conseillé de qualifier `const` toute fonction qui peut l'être car cela garantit qu'on ne pourra appliquer des méthodes constantes que sur un objet constant.

La méthode publique `getX()` est un accesseur (*get*) et `setX()` est un manipulateur (*set*) de l'attribut `x`. L'utilisateur de cet objet ne pourra pas lire ou modifier directement une propriété sans passer par un accesseur ou un manipulateur.

Notion de messages

Les objets interagissent entre eux en **s'échangeant des messages**. Un objet doit être capable de répondre un **ensemble de messages**. L'ensemble des messages forme ce que l'on appelle l'**interface de l'objet**.



La réponse à la réception d'un message par un objet est appelée **une méthode**. Une **méthode est donc la mise en oeuvre du message** : elle décrit la réponse qui doit être donnée au message.

```cpp
// L'envoie d'un message correspond à l'appel de la méthode du même nom :
unAutreObjet.message();
```


Construction d'objets

Pour **créer des objets à partir d'une classe**, il faut ... **un constructeur** :

- Un constructeur est chargé d'**initialiser un objet de la classe** ;
- Il est appelé **automatiquement au moment de la création** de l'objet ;
- Un constructeur est une **méthode qui porte toujours le même nom que la classe** ;
- Il peut avoir des paramètres, et des valeurs par défaut ;
- Il peut y avoir plusieurs constructeurs pour une même classe (surcharge) ;
- Il n'a jamais de type de retour.

On le **déclare** de la manière suivante :

```
class Point
{
   private:
      double x, y; // nous sommes des attributs de la classe Point

   public:
      Point(double x, double y); // j'ai le même nom que la classe, je suis donc le
          constructeur de la classe Point
};
```

Point.h

Il faut maintenant **définir** ce constructeur afin qu'il **initialise tous les attributs de l'objet au moment de sa création** :

```
// Je suis le constructeur de la classe Point
Point::Point(double x, double y)
{
   // je dois initialiser TOUS les attributs de la classe
   this->x = x; // on affecte l'argument x à l'attribut x
   this->y = y; // on affecte l'argument y à l'attribut y
}
```

Point.cpp

✍ *Le mot clé "**this**" permet de désigner l'adresse de l'objet sur laquelle la fonction membre a été appelée. On peut parler d'"auto-pointeur" car l'objet s'auto-désigne (sans connaître son propre nom). Ici, cela permet de différencier les attributs **x** et **y**) des paramètres **x** et **y**.*

Constructeur par défaut

Si vous essayer de créer un objet sans lui fournir une abscisse `x` et une ordonnée `y`, vous obtiendrez le message d'erreur suivant :

```
erreur: no matching function for call to Point::Point()'
```

Ce type de constructeur (`Point::Point()`) se nomme un **constructeur par défaut** (il ne possède pas de paramètres). Son rôle est de créer une instance non initialisée quand aucun autre constructeur fourni n'est applicable.

Le constructeur par défaut de la classe `Point` sera :

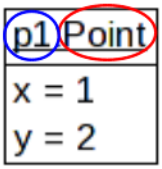
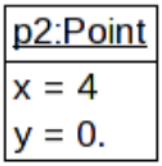

```
Point::Point() // Sans aucun paramètre !
{
   x = 0.;
   y = 0.;
}
```

✍ *Il est aussi possible de déclarer un constructuer par défaut en utilisant des paramètres par défaut.*

Instancier des objets

Instancier un objet revient à créer une variable d'un type classe (`class`). Une instance de classe est donc un objet.

On pourra alors **créer nos propres points** :

UML	C++
	`Point p1(1, 2);`
	`Point p2(4, 0.);`

Les objets `p1` et `p1` sont des instances de la classe `Point`. Un objet possède sa propre existence et un état qui lui est spécifique (c.-à-d. les valeurs de ses attributs).

✍ *On accède aux membres comme pour un structure : avec l'opérateur d'accès* `.` *ou l'opérateur d'indirection* `->` *si on manipule une adresse.*

```
Lampe lampe;

// Pour allumer la lampe :
lampe.allumer();

// Et pour l'éteindre :
lampe.eteindre();
```

Allocation dynamique d'objet

Pour allouer dynamiquement un objet en C++, on utilisera l'opérateur `new`. Celui-ci renvoyant une adresse où est créé l'objet en question, il faudra un pointeur pour la conserver. Manipuler ce pointeur, reviendra à manipuler l'objet alloué dynamiquement.

Pour libérer la mémoire allouée dynamiquement en C++, on utilisera l'opérateur `delete`.

```
Point *p3; // je suis un pointeur (non initialisé) sur un objet de type Point

p3 = new Point(2,2); // j'alloue dynamiquement un objet de type Point

cout << "p3 = ";
p3->affiche(); // Comme p3 est une adresse, je dois utiliser l'opérateur -> pour accéder aux
    membres de cet objet

cout << "p3 = ";
(*p3).affiche(); // cette écriture est possible : je pointe sur l'objet puis j'appelle sa
   méthode affiche()

delete p3; // ne pas oublier de libérer la mémoire allouée pour cet objet
```

Tableau d'objets

Il est possible de conserver et de manipuler des objets dans un tableau :

```
// typiquement : les cases d'un tableau de Point
Point tableauDe10Points[10]; // le constructeur par défaut est appelé 10 fois (pour chaque
   objet Point du tableau) !
int i;

cout << "Un tableau de 10 Point : " << endl;
for(i = 0; i < 10; i++)
{
   cout << "P" << i << " = "; tableauDe10Points[i].affiche();
}
cout << endl;
```

Les objets constants

Les règles suivantes s'appliquent aux objets constants :
- On déclare un objet constant avec le modificateur `const`
- On ne peut appliquer que des méthodes constantes sur un objet constant
- Un objet passé en paramètre sous forme de référence constante est considéré comme constant

Une **méthode constante** est tout simplement une méthode qui ne modifie aucun des attributs de l'objet.

```
class Point
{
   private:
      double x, y;

   public:
      Point(double x=0, double y=0) : x(x), y(y) {}

      double getX() const; // une méthode constante
      double getY() const; // une méthode constante
      void setX(double x);
      void setY(double y);
};
```



```
// L'accesseur get du membre x
double Point::getX() const
{
   return x;
}

// Le manipulateur set du membre x
void Point::setX(double x)
{
   this->x = x;
}
```

Destruction d'objets

Le **destructeur** est une méthode membre appelée **automatiquement** lorsqu'une instance (objet) de classe cesse d'exister en mémoire :

- Son rôle est de **libérer toutes les ressources** qui ont été acquises lors de la construction (typiquement libérer la mémoire qui a été allouée dynamiquement par cet objet) ;
- Un destructeur est une **méthode qui porte toujours le même nom que la classe, précédé de "~"** ;
- Il ne possède aucun paramètre et il n'a jamais de type de retour.
- Il n'y en a qu'un et un seul.

La forme habituelle d'un destructeur est la suivante :

```
class T
{
   public:
      ~T(); // destructeur
};
```

Conclusion

Les types sont au centre de la plupart des notions de programmes corrects, et certaines des techniques de construction de programmes les plus efficaces reposent sur la conception et l'utilisation des types.

Rob Pike (ancien chercheur des *Laboratoires Bell* et maintenant ingénieur chez *Google*) :

> « Règle n°5 : Les données prévalent sur le code. Si vous avez conçu la structure des données appropriée et bien organisé le tout, les algorithmes viendront d'eux-mêmes. La structure des données est le coeur de la programmation, et non pas les algorithmes. »

Cette règle n°5 est souvent résumée par « Écrivez du code stupide qui utilise des données futées ! »

