

2020-2021, Semestre d'automne
L3, Licence Sciences et Technologies
Université Lyon 1

LIFAP6: Algorithmique, Programmation et Complexité

Chaine Raphaëlle (responsable semestre automne)
E-mail : raphaelle.chaine@liris.cnrs.fr
<http://liris.cnrs.fr/membres?idn=rchaine>

1

1

Organisation de cet enseignement

- Répartition sur 10 semaines
 - 1h30 de cours
 - 1h30 de TD
 - 3h de TP
- Auxquelles peuvent être ajoutés des créneaux correspondant à des rendus de TP et un TP complémentaire

2

2

Evaluation des connaissances

- Contrôle continu intégral
 - Assiduité en TD/TP
 - Petites interrogations (questions de cours, ou exercices fait en TD) (2 ou 3)
 - Evaluation de certains TPs (2 ou 3)
 - Contrôle en amphi (à la fin de l'UE)
- Enseignants référents
- Tuteurs

3

3

Bibliographie Algorithmique

- **Introduction à l'algorithmique**,
T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest, Dunod
- **Structures de données et algorithmes**,
A. Aho, J. Hopcroft, J. Ullman, InterEditions
- **Types de données et algorithmes**,
C. Froideveaux, M.C. Gaudel, M. Soria, Ediscience
- **The Art of Computer Programming**,
D.Knuth, Vol. 1 et 3, Addison-Wesley
- **Algorithms**, Sedgewick, Addison-Wesley
- **Algorithmes de graphes**, C. Prins, Eyrolles

4

4

Bibliographie C

- **The C Programming Language (Ansi C)**
B.W. Kernighan - D.M. Ritchie
Ed. Prentice Hall, 1988
- **Le langage C - C ANSI**
B.W. Kernighan - D.M. Ritchie
Ed. Masson - Prentice Hall, 1994
- **Langage C - Manuel de référence**
Harbison S.P., Steele Jr. G.L.
Masson, 1990
(traduction en français par J.C. Franchitti)
- **Méthodologie de la programmation en langage C, Principes et applications**
Braquelair J.P.
Masson, 1995
- N'oubliez jamais de vous servir du **man!**

5

5

Bibliographie C++

- **C++ Primer**, Lippman & Lajoie,
Third Edition, Addison-Wesley, 1998
- **L'essentiel du C++**, Lippman & Lajoie, Vuibert
- **Le langage et la bibliothèque C++, Norme ISO**
Henri Garetta, Ellipse, 2000
- **The C++ Programming Language**,
Bjarne Stroustrup, 3. Auflage, Addison-Wesley,
1997,
(existe en version française)

6

6

Objectifs

- Méthodes de conception pour la résolution de problèmes
 - Types Abstraits
 - Collection ou Ensemble, Séquence ou Liste, Tableau, File, Pile, File de priorité, Table, Arbres, Graphes
- Structures de données
- Complexité des algorithmes
 - Efficacité asymptotique : temps de calcul, espace nécessaire
 - Définitions
 - Outils théoriques d'analyse de la complexité
- Notion de preuve
- Réalisation, impl(éme)(a)ntation

7

7

Prérequis

- LIFAP1, LIFASR3, LIFAP2, LIFAP3, (et dans une moindre mesure LIFAP4)
- Gestion de la mémoire
 - Organisation en pile des variables d'un programme
 - Allocation dynamique dans le tas (*new/delete, malloc/free*)
- Différents modes de passage des paramètres d'une procédure
 - Donnée, donnée-résultat, résultat
 - Donnée : la procédure travaille sur une copie (*passage par valeur*)
 - Donnée-Résultat : la procédure travaille sur l'original (*passage par adresse ou bien par référence*)
- Notion de pointeur et de référence
- Arithmétique des pointeurs
- Type Abstrait et Programmation Modulaire (.hpp .cpp)
- Nuance entre définition et déclaration

8

8

Prérequis C/C++

- Spécificité des tableaux statiques et des chaînes de caractères en C

```
int tab[4];
char st1[20]={'S', 'o', 'l', 'e', 'i', 'l', '\0' }; char st2[ ]="Jojo";
```
- Lecture / écriture
 - scanf, printf, ... (entrée/sortie standard)
 - fscanf, fprintf, fread, fwrite, feof, fopen, fclose, ... (entrée/sortie sur fichiers)
 - Entrées sorties avec << et >>
- Différentes étapes de la compilation
- Makefile

9

9

Retour sur la PILE et le TAS

10

10

Prérequis C/C++

- Savoir identifier le positionnement en mémoire des éléments du programme et leur durée de vie
 - Pile et Tas
 - Pile :
 - Lieu où sont allouées (par **empilement**) les **variables** du programme (ex : `int ma_variable_i;`)
Dépilement à la fin du {bloc} contenant la définition
 - Lieu où sont retournées les **valeurs des fonctions**
Dépilement à la fin de l'instruction contenant leur appel
- Attention : Cela concerne aussi les arguments des procédures et fonctions!

11

11

Définition de fonctions en C++

```
float moyenne(float a, float b)
//Précondition : a et b initialisés avec valeurs valides
quelconques
//Resultat : retourne la moyenne de a et b
{
    float res;
    res = (a+b)/2;
    return res;
}
```

```
A l'appel :
float x=4,d;
...
d=moyenne(x,2);
```

Question : Que se passe-t-il en mémoire ?

12

12

Evolution de la pile

```
float x=4,d;
...
d=moyenne(x,2);
```

x	4
d	

Attention : il s'agit ici d'un modèle pédagogique de l'évolution de la pile avec une simplification de la mise en œuvre des retours de fonctions!

13

13

Evolution de la pile (suite)

```
float x=4,d;
...
d=moyenne(x,2);
```

Or

```
float moyenne(float a,
              float b)
{
    float res;
    res = (a+b)/2;
    return res;
}
```

x	4
d	
Appel moyenne(x,2)	
Valeur retour	
a	4
b	2

14

14

Evolution de la pile (suite)

```
float x=4,d;
...
d=moyenne(x,2);
```

Or

```
float moyenne(float a,
              float b)
{
    float res;
    res = (a+b)/2;
    return res;
}
```

Appel moyenne(x,2)	
Valeur retour	
a	4
b	2
res	

15

15

Evolution de la pile (suite)

```
float x=4,d;
...
d=moyenne(x,2);
```

Or

```
float moyenne(float a,
              float b)
{
    float res;
    res = (a+b)/2;
    return res;
}
```

Appel moyenne	
Valeur retour	
a	4
b	2
res	3

16

16

Evolution de la pile (suite)

```
float x=4,d;
...
d=moyenne(x,2);
```

Or

```
float moyenne(float a,
              float b)
{
    float res;
    res = (a+b)/2;
    return res;
}
```

Appel moyenne	
Valeur retour	3
a	4
b	2
res	3

17

17

Evolution de la pile (suite)

```
float x=4,d;
...
d=moyenne(x,2);
```

Or

```
float moyenne(float a,
              float b)
{
    float res;
    res = (a+b)/2;
    return res;
}
```

x	4
d	3
Valeur retour	
	3

18

18

Evolution de la pile (suite)

```
float x=4,d;  
...  
d=moyenne(x,2);
```



19

Prérequis C/C++

```
int ff(int a)  
{ int b=4;  
  return a+b;  
}  
int main()  
{ int i=5;  
  { int j = 55;  
    j=ff(i);  
  }  
  i++;  
  return 0;  
}
```

20

19

20

Prérequis C/C++

```
int ff(int a) //5 VRff et a empilés à l'appel de ff  
{ int b=4; //6 Empilement de b  
  return a+b; //7 Initialisation de VRff (valeur retour)  
} //8 Dépilement de b et de a  
int main() //1 VRmain empilée à l'appel du main  
{ int i=5; //2 Empilement de i  
  { int j = 55; //3 Empilement de j  
    j=ff(i); //4 Appel ff  
  } //9 dépilement VRff au ;  
  //10 Dépilement de j  
  i=i+1; //11  
  return 0; //12 Initialisation de VRmain  
} //13 Dépilement de i
```

21

21

Prérequis C/C++

- Tas :
 - Lieu où des objets sont alloués par l'allocateur mémoire new ou malloc qui recherche un espace disponible et renvoie l'adresse correspondante
 - L'adresse doit être récupérée par un pointeur
 - La désallocation doit être faite par delete ou free à qui on communique l'adresse de l'objet à désallouer

22

22

Prérequis C/C++

```
int main() //1 Empilement de VRmain  
{ int i=5; //2 Empilement de i  
  { int* pi; //3 Empilement de pi (de type pointeur)  
    pi=new int; //4 Allocation dynamique de mémoire  
    // à une adresse mémorisée dans pi  
    *pi=i+5; // *pi est l'espace de type int alloué  
    i=*pi+1; // dans le tas  
    delete pi; //5 Désallocation de l'espace pointé  
  } //6 Dépilement de pi  
  i++;  
  return 0; //7 Initialisation de VRmain  
}
```

23

23

Pointeurs et adressage en C/C++

- **Opérateur &**
Accès à la valeur de l'adresse d'une variable
ex : int a;
 &a renvoie la valeur de l'adresse de a
 &a peut être stockée dans une variable de type
int *

Attention : Ne pas confondre avec le & permettant
de définir des références en C++

24

24

Retour sur les pointeurs et les références

25

- **Définition de variables de types pointeur**
Nom_Type* nom_variable;

La variable pointée par **nom_variable** est de type **Nom_Type**

Ex : **int*** pa;

pa destinée à contenir des adresses de variables de type int

Ex : pa = **&a** ;
// où a est une variable de type int

26

25

26

- **Opérateur *** (de déréférencement)
Pour accéder à une variable à partir d'une valeur d'adresse

Ex : pa = **&a** ;
//ici *pa désigne donc a

Remarque : *pa identique à ***(&a)**
identique à a

- Remarque : Pour déréférencer un pointeur, on peut aussi utiliser l'opérateur [] avec argument 0

*pa identique à pa[0] (cf transparents ultérieurs sur les pointeurs et les tableaux C/C++)

27

27

Prérequis C/C++

- Savoir identifier la signification des symboles * et & en tout lieu

NomType* p; //définition d'une variable p
//de type pointeur sur NomType

*p //déréférencement du pointeur p,
//désigne la variable pointée par p

NomType & a=b; //définition d'une référence a
//sur la variable b

&c //valeur de l'adresse de la variable c

- Différence entre (type) pointeur (LIFAP3) et (pseudo-type) référence (LIFAP1)

28

28

Retour sur les références du C++

- Etant donné un **type T**, C++ offre au programmeur le **pseudo-type T &**
 - Référence sur un objet de type T
 - Une référence correspond à un synonyme ou alias

Ex :
int a;
int & b=a; //b est un alias de a
(référence sur la variable a)

– MAIS b N'EST PAS UNE NOUVELLE VARIABLE!

29

29

- La référence n'est **pas un vrai type**
- La définition d'une référence ne correspond pas à la définition d'une nouvelle variable
- Toute opération effectuée « sur » une référence est effectuée sur la variable référée (et inversement)

– Ex :
int a=4;
int & b=a;
b++;
a++;
b=a;

- Avec const, on peut également créer des références sur des valeurs!!!!

const int & c=15; //Das ce cas un temporaire
// est empilé pour stocker 15

30

30

- Une référence **doit** être initialisée au moment de sa définition
 - Par un identifiant d'un **emplacement** mémoire de **valeur modifiable** (*l-value*) dans le cas d'une référence **T &**
 - Par un identifiant d'un emplacement mémoire de valeur modifiable ou non, ou bien par une valeur constante dans le cas d'une référence **const T &**
- ```

double d;
double& dr1=5; //Erreur
double& dr2=d; //OK
const double& cdr2=d; //OK mais pas de //modif. de d via cdr2
const double& cdr1=5; //OK


```

31

- Attention, la référence est associée à une variable au moment de sa définition, cette association ne peut pas être modifiée par la suite


32

```
int a=3;
int &b=a; b ≅ a
```



33

```
int a=3;
int &b=a; b ≅ a
```



- Secret de Polichinelle :  
Réalisation d'une référence à travers un «pointeur masqué»

pm\_b  
(pointeur masqué)



Chaque occurrence de b dans le programme est remplacée par \*pm\_b

34

### Rappel LIFAP1 : Mise en œuvre du passage de paramètres **résultat** ou **donnée résultat** à une procédure en C++

On veut travailler sur les variables originales, pas sur des copies

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

A l'appel  
int aa=4, bb=5;  
swap(aa,bb);

35

### A utiliser en lieu et place des pointeurs pour les passages de paramètres **résultat** ou **donnée résultat** en C

```
void swap(int* pa, int* pb)
{ int c;
 c = *pa;
 *pa = *pb;
 *pb = c;
}
```

Utiliser les pointeurs supprime l'ambiguïté de savoir si on travaille sur des références ou sur des int, mais il faut faire le travail d'indirection!

A l'appel  
int aa=4, bb=5;  
swap(&aa,&bb);

36

35

36

## Passages de paramètres des procédures C++

```
void exemple(int & a, //paramètre donnée-résultat
 //ou résultat
 int x, const int & z //paramètre donnée
)
//Précondition : a variable initialisée quelconque
//Postcondition : a+ a pour valeur x*z
{
 a=x*z;
}
```

37

37

Peut-on voir un appel de fonction à gauche d'un opérateur d'affectation?

38

38

OUI!!!

S'il s'agit d'une fonction retournant une référence

```
Ex : int& elt(int tab[],int i,int t)
//précondition : tab de taille t (au moins)
// : 0<=i<=t-1
//Résultat : retourne une référence
// sur le ième élément de tab.
// Attention cette référence pourra ensuite
// permettre d'en modifier le contenu
{return tab[i];}
```

A l'appel :

```
int tatab[4];
elt(tatab,0,4)=2;
```

39

39

Que penser de :

```
int& inc(int i)
{
 int temp=i+1;
 return temp;
}
```

40

40

```
int quizz(int & a, int b)
```

```
{
 int z=a+b;
 a=a+1;
 return z;
}
```

Est-ce un fonction au sens algorithmique du terme?  
(ie. qui n'a pas d'effet de bord)

```
float moyenne(float & a, float & b)
```

```
{
 float res;
 res = (a+b)/2;
 return res;
}
```

Même question?

41

41

Pour éviter toute ambiguïté :

```
float moyenne(const float & a, const float & b)
{
 float res;
 res = (a+b)/2;
 return res;
}
```

42

42

## Retour sur les Types Abstraites et leur mise en œuvre en C++

43

43

## Types abstraits

- Type :
  - Ensemble des valeurs codées par le type
  - Ensemble des opérations que l'on peut effectuer sur les valeurs et variables de ce type
- Il n'est pas nécessaire de connaître la manière dont les valeurs et les opérations sont codées pour pouvoir les utiliser.
- On utilise les types de façon abstraite, sans connaître leur implantation interne
- Ex : Entier + - \* /

44

44

- Il existe un certain nombre de types scalaires de base
- On souhaite construire de **nouveaux types abstraits** :
  - Constructibles à partir de types existants
  - Manipulables à travers un jeu d'opérations, **sans avoir à connaître leur structuration interne**
- Ex : Les chaînes de caractères C/C++ sont un piètre exemple de type abstrait
  - Leur utilisation est étroitement liée à leur implantation

45

45

## • Description des Types Abstraites dans le cadre de **modules**

- **Module** : Regroupe un ensemble de définitions de constantes, de variables globales, de **types**, de procédures et de fonctions qui forment un ensemble cohérent.
  - **Interface du module** : Présentation claire des constantes, variables, **types**, procédures et fonctions offertes par le module
  - **Implantation du module** : Mise en œuvre des **types**, procédures et fonctions proposées dans l'interface. Définition des constantes et variables globales du module.

46

46

## • Pourquoi la séparation interface / implantation ? (Déclarations / définitions)

- Eviter l'introduction (parfois inconsciente) de dépendances entre l'utilisation d'un type et son implantation (idem pour les procédures et les fonctions)
- Possibilité de modifier l'implantation du module sans toucher à son interface
- Possibilité de mettre en place des bibliothèques logicielles
- Si mise en œuvre en C/C++
  - Possibilité de compiler l'implantation du module indépendamment des programmes utilisateurs
  - Possibilité de transmettre uniquement l'interface et l'implantation compilée au programme utilisateur d'un module

47

47

## • **Modules et types abstraits : Pseudo langage utilisé**

- **module** nom\_module { rôle du module}
  - **importer**  
Déclaration des éléments de modules extérieurs utilisés dans l'interface de nom\_module
  - **exporter**  
Déclaration des éléments offerts par nom\_module
  - **implantation**
    - Déclaration des éléments de modules extérieurs utilisés dans l'implantation de nom\_module
    - Définition éventuelle d'éléments internes au module (utiles pour l'implantation de nom\_module mais non exportés)
    - Définition des éléments offerts par nom\_module
  - **initialisation**
    - Actions à exécuter au début du programme pour garantir une utilisation correcte du module
- finmodule**  
Éléments = constantes, variables globales (au module), types, procédure et fonction

48

48



```

module nombre_complexe
• importer
 Module nombre_réel {offrant le type MonRéel}
• exporter
 constante PI : MonRéel
 variable cpteComplexe : entier {nombre de Complexes manipulés}
 Type Complexe

 procédure initialiser(Résultat c : Complexe) {pré/postconditions ...}
 procédure initialiser(Résultat c1 : Complexe,
 Donnée c2 : Complexe) {pré/postconditions ...}
 procédure initialiser(Résultat c : Complexe,
 Donnée a,b : MonRéel) {pré/postconditions ...}
 procédure testament (donnée-résultat Complexe c) {pré/postconditions}

 procédure affectation(donnée-résultat Complexe c1,
 donnée Complexe c2) {pré/postconditions de L'AFFECTION...}
 procédure affiche(donnée Complexe c) {pré/postconditions ...}
 Complexe fonction addition(donnée Complexe c1, Complexe c2)
 {préconditions et résultat...}
 ...

```

49

```

• implantation
 constante PI : MonRéel ← 3,141 59
 variable cpteComplexe : entier ← 0
 Type Complexe = structure
 x : MonRéel
 y : MonRéel
 fin Complexe

 procédure initialiser(Résultat c : Complexe, Donnée a,b : MonRéel)
 début
 c.x ← a c.y ← b cpteComplexe++
 fin initialiser
 procédure initialiser(Résultat c : Complexe)
 début
 initialiser(c,0,0)
 fin initialiser
 procédure initialiser(Résultat c1 : Complexe, Donnée c2 : Complexe)
 début
 initialiser(c1,c2.x,c2.y)
 fin initialiser
 procédure testament(donnée-résultat Complexe c2)
 début
 cpteComplexe--
 fin testament

```

50

```

 procédure affectation(donnée-résultat Complexe c1,
 donnée Complexe c2)
 début
 c1.x ← c2.x
 c1.y ← c2.y
 fin affectation

 procédure affiche(donnée Complexe c)
 début
 affiche (c.x), affiche(" +i "), affiche (c.y)
 fin affiche

 Complexe fonction addition(Complexe c1, Complexe c2)
 début
 Complexe c
 initialiser(c,c1.x+c2.x,c1.y+c2.y)
 resultat c
 fin affiche

• Initialisation {Rien à signaler ici }
finmodule nombre_complexe

```

51

```

Programme utilisateur
• importer
 module nombre_réel, nombre_complexe
• variable
 r : MonRéel
 z1 : Complexe
 z2 : Complexe
 z3 : Complexe

```

52

```

• Début
 r ← 5
 initialiser(z1,r,PI)
 initialiser(z2,z1)
 initialiser(z3)
 affectation(z2, z3)
 affectation(z3,addition(z1,z2))
 affiche(z2)
 testament(z1)
 testament(z2)
 testament(z3)

• Fin

```

53

```

• Problème : La valeur de cmpte_complexe n'est pas nulle à la fin de l'exécution du programme!
• La procédure testament n'a pas pu être invoquée sur la valeur de retour de l'addition...
• Solutions :
 – A la place d'une fonction d'addition, possibilité d'opter pour une procédure addition à trois paramètres dont un paramètre résultat sera le Complexe dans lequel on souhaitera stocker le résultat

```

54

## Une solution plus élégante

Le programme sera plus élégant si les procédures d'initialisation et de testament peuvent être appelées de manière automatique...

Et encore plus élégant si on peut récupérer les symboles des opérateurs existants (<, +, -, \*, /)

55

55

## Programme utilisateur

```

• importer
 module nombre_réel, nombre_complexe
• variable
 r : MonRéel ← 5
 z1 : Complexe ← (r,PI)
 z2 : Complexe ← z1
 z3 : Complexe
• Début
 z2 ← z3
 z3 ← z1+z2
 affiche(z2)
Fin

```

Appel implicite à la procédure d'initialisation adéquate

Appel implicite à la procédure testament sur z1, z2 et z3 avant leur disparition

56

56

Le mécanisme d'appel automatique des procédures d'initialisation et de testament pourra être mis en œuvre en C++ mais pas en C (dans ce cas prévoir des appels explicites)

57

57

## Mise en oeuvre en C++

- Répartition du module sur 2 fichiers
  - **Interface du module** : Fichier d'entête (.h) Contenant la déclaration des éléments importés et exportés

Le fichier d'entête contient **malheureusement** aussi les définitions de type ...

- **Implantation du module** : Fichier source (.cpp)

58

58

```

#ifndef __NBCOMP
#define __NBCOMP
#include "NombreReel.h" //type MonReel
extern const MonReel PI;
extern int cmpteComplexe;
struct Complexe
{
 MonReel x,y;//données membres
 // Procédures d'initialisation (constructeurs)
 Complexe(); //Pré/postconditions... constructeur par défaut
 Complexe(const Complexe & z); // Pré/postconditions...
 // constructeur par copie
 Complexe(const MonReel& a, const MonReel& b); // Pré/postconditions
 // Procédure testament (destructeur)
 ~Complexe(); //Pré/postconditions...
 void affiche() const; //Préconditions et résultat
 const Complexe& operator = (const Complexe & z);
 //Pré/postconditions...
};
//Pré/postconditions...
Complexe operator +(const Complexe & z1, const Complexe & z2);
#endif

```

NombreComplexe.h  
Fichier de promesses!

59

```

#include "NombreReel.h"
#include "NombreComplexe.h "
const MonReel PI=3,141 59;
int cmpteComplexe=0;
Complexe::Complexe() {(*this).x=(*this).y=0; cmpteComplexe++;}
//ie. le x et le y du Complexe à initialiser
Complexe::Complexe(const Complexe & z) {...}
Complexe::Complexe(const MonReel& a, const MonReel& b) {...}
Complexe::~Complexe() {cmpteComplexe--;}
const Complexe& Complexe::operator = (const Complexe & z)
{if (this!=&z) //this : adresse du Complexe à affecter
 {(*this).x=z.x; (*this).y=z.y;
 return *this;
}
Complexe operator +(const Complexe & z1, const Complexe & z2)
{...}
void Complexe::affiche() const
{...}

```

NombreComplexe.cpp

60

60

## main.cpp

```
#include "NombreReel.h"
#include "NombreComplexe.h"
int main()
{
 Monreel r=5;
 Complexe z1(r,PI);
 Complexe z2(z1); //appel constructeur par copie
 Complexe z3; //appel constructeur par défaut
 z2=z1+z1;
 return 0;
} // appel au destructeur des variables
//z1,z2 et z3 avant qu'elles ne soient détruites
```

61

61

Remarque 1 :

- Le type Complexe est implanté sous forme d'une structure à 2 champs x et y (**données membres**)

Remarque 2 :

- Les procédures d'**initialisation automatique (constructeurs)** d'un Complexe ne font pas apparaître le Complexe sur lequel elles agissent dans la liste de leurs paramètres.
- Accès au Complexe concerné via un pointeur : **this**
- Idem pour la procédure de **testament automatique** avant disparition (**destructeur**) d'un Complexe
- Idem pour la surcharge de l'opérateur d'affectation

On dit que ce sont des **fonctions membres** de la struct Complexe

62

62

Caractéristiques des fonctions membres :

- Déclaration dans la portée de struct Complexe
- Nom complet préfixé par **Complexe::** (c'est **ce** nom complet qui est utilisé au moment de la **définition** de la fonction membre)
- Une fonction membre est une fonction qui possède un **argument implicite** supplémentaire **this** (adresse du Complexe sur lequel est invoquée la fonction membre)
- Fonctions membres à ajouter : accès à ou modification des données membre (accesseurs *get* et modifieurs *set*)

63

63

Attention :

- L'opérateur + n'a pas été surchargé en fonction membre de la struct Complexe :
  - 2 opérands
  - aucune raison de privilégier son opérande de gauche plutôt que celui de droite
  - Ainsi on conserve le caractère symétrique de l'opérateur +

64

64

## Mot clef *static*

- Utilisation pour définir des éléments **internes** à un module
  - Éléments non exportés (non utilisables dans d'autres modules)
- Exemple :
  - Pour l'instant la variable globale cmpteComplexe du module NombreComplexe est exportée,
  - Possibilité de la modifier depuis un programme utilisateur et donc de lui faire perdre son intégrité
  - Il serait préférable :
    - Que cmpteComplexe soit une variable globale **interne** au module NombreComplexe
    - et que l'on exporte juste une fonction permettant d'accéder à sa valeur depuis un programme utilisateur

65

65

```
#ifndef __NBCOMP
#define __NBCOMP
#include "NombreReel.h" //type MonReel
NombreComplexe.h
Fichier de promesses!

extern const MonReel PI;

// La variable globale cmpteComplexe a été retirée de l'interface
// au profit d'une fonction d'accès à sa valeur

struct Complexe
{
 MonReel x,y;//données membres

 // déclaration procédures d'initialisation (constructeurs)
 ...

 // déclaration procédure testament (destructeur)
 ...

 // déclaration surcharge opération d'affectation (operator =)
};

// Procédures, fonctions et opérations offertes sur le type abstrait Complexe
...
int nbComplexesVivants();
//Préconditions : aucune
//Résultat : nombre de Complexes existant en mémoire au moment de l'appel
#endif
66
```

66

```

NombreComplexe.cpp

#include "NombreReel.h"
#include "NombreComplexe.h "
#include <iostream>

const MonReel PI=3,141 59;
static int cmpteComplexe=0; //définition variable globale interne

//On peut aussi définir des fonctions internes à un module
static int exempleFonctionInterne()
{
 std::cout << " Hello " << std::endl;
 return 8;
}

//Définition des constructeurs de Complexe
...
//Définition du destructeur de Complexe
...
//Définition de la surcharge de l'opérateur d'affectation
...
//Définition des procédures, fonctions et opérations
// offertes sur le type abstrait Complexe
...
int nbComplexesVivants()
{
 return cmpteComplexe;
}

```

cmpteComplexe et exempleFonctionInterne accessibles **uniquement** dans NombreComplexe.cpp

67

## Mot clef *static*

- Remarque :
  - Le mot clé static peut-aussi être utilisé pour définir des variables de classes ie. des variables globales définies DANS la portée d'une classe.
  - **class Complexe**

```

{
 static int compte_complexe;

}; // déclaration dans le fichier complexe.h

```
  - Cette fois, le nom complet de notre variable globale est `Complexe::compte_complexe`
  - **A la différence de précédemment les variables de classes peuvent être exportées**

68

## Constructeurs

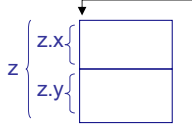
- Constructeur : fonction membre portant le nom de la struct, dont C++ génère l'appel, au moment de la création d'instances du type ainsi créé
  - avant le main pour les variables globales,
  - au sein d'un bloc pour les variables locales,
  - lors d'un appel à l'opérateur new pour les instances allouées dynamiquement

69

```

Complexe z;
//Création sur la pile
//et initialisation par
//le constructeur par défaut

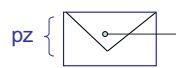
```



```

Complexe *pz=&z;
Notations :
(*pz).x peut s'écrire pz->x

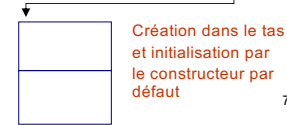
```



```

Complexe *pz1=new Complexe;
...
delete pz1;

```



70

- Il peut y avoir plusieurs constructeurs
- Constructeurs usuels
  - constructeur par défaut (sans argument)
  - constructeur par copie
- Pas de type de retour dans la signature des constructeurs

```

Fichier.h
struct CC
{
 CC(); //par défaut
 CC(const CC &); //par copie
};

Fichier.cpp
CC::CC()
{ corps constructeur par défaut}
...

```

71

- Arguments du constructeur : fournis à la définition de l'instance
 

```

Complexe z1; //Initialisation par défaut
Complexe z2(z1); //Initialisation par copie
Complexe * pz=new Complexe(2,5);

```

72

- Remarque :  
un constructeur peut être invoqué de manière **explicite** pour créer une variable temporaire
- Exemple :  
z1=z+Complexe(2,7);

73

73

## Constructeur par copie

- Initialisation d'une instance à partir d'une référence sur une instance de même type  
Complexe z(zz);  
Complexe z=zz;  
Complexe z=Complexe(zz);  
Complexe \*pz=new Complexe(zz);
- Appel au constructeur par copie de signature  
Complexe::Complexe(const Complexe &)

74

74

## Constructeur par copie

- Si vous n'avez pas prévu de constructeur par copie dans votre module :
  - Existence d'un constructeur par copie implicite qui fait une copie des champs en suivant leur propre lois de copie
  - Pour un type primitif la copie employée est une copie bit à bit

75

75

- Attention : Le constructeur par copie est appelé en de multiples circonstances
- Ex :  
Complexe UneFct(Complexe t)  
{return t;}  
-----  
Complexe z;  
UneFct(z);  
Combien d'appel au constructeur par copie?

76

76

- Appel au constructeur par copie :
  - quand une instance est définie et initialisée à partir d'une autre,
  - quand on passe une valeur de type Complexe à une fonction,
  - quand une fonction retourne une valeur de type Complexe

77

77

## Destructeur

- Fonction membre appelée **automatiquement**, au moment de la destruction d'une instance, **avant** libération de l'espace mémoire correspondant
  - A la fin du programme, pour les instances globales
  - A la fin du bloc, pour les instances locales (automatic)
  - Lors de l'appel à delete, pour les instances allouées dynamiquement
- Un destructeur est
  - **unique**,
  - sans argument
- Syntaxe  
Nom de la struct précédé de ~

78

78

```

struct CC CC::CC()
{ { ad=new int[5]; }
 CC();
 ~CC();
 int *ad;
}; CC::~~CC()
 {
 delete [] ad;
 std::cout<<"Je n'ai plus rien "
 "a restituer dans le tas \n";
 }

```

Attention : Dans ce cas là, un constructeur par copie serait également nécessaire! Savez vous pourquoi?

79

79

## Destructeur

- Si vous n'avez pas prévu de destructeur dans votre module :
  - Existence d'un destructeur implicite qui appelle le destructeur des données membres qui en possèdent un

80

80

## L'opérateur d'affectation

- Opérateur membre appelé dans les instructions du type

```

CC a,b;
a=b; //appel à l'opérateur d'affectation de CC
 // a.operator=(b)

```

- Prototype de l'opérateur membre d'affectation

```

CC & CC::operator = (const CC &);
const CC & CC::operator = (const CC &);

```

- Existence d'un opérateur d'affectation implicite qui fait une copie des champs

81

81