

2026-2027, Semestre d'automne
L3, Licence Sciences et Technologies
Université Lyon 1

LIFAPC: 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
- Auxquels sont ajoutés des créneaux correspondant à des séances pendant lesquelles avancer vos TPs (sans enseignants)

2

2

Evaluation des connaissances

- Contrôle continu intégral
 - Assiduité en TD/TP et aux épreuves de l'UE
 - Petites interrogations (questions de cours, ou exercices fait en TD) (2 ou 3)
Note QROC = moyenne des 2 meilleures notes
 - Evaluation de certains TPs (Rendu TP et/ou interro)
 - Qroc finale en amphi (à la fin de l'UE)
 - Une absence à une épreuve ne peut être neutralisée
- 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**
Braquelaire 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 (triée ou non), Tableau, File, Pile, File de priorité, Table, Arbres, Graphes
- Structures de données
- Complexité des algorithmes
 - Efficacité asymptotique : temps de calcul, espace nécessaire, empreinte mémoire
 - Définitions
 - Outils théoriques d'analyse de la complexité
- Notion de preuve
- Réalisation, impl(éme)(a)ntation

7

7

Prérequis

- LIFAPI, LIFABP, LIFAPR, LIFAPSD (et LIFProjet)
- Gestion de la mémoire
 - Organisation en **pile** des variables d'un programme
 - Allocation dynamique dans le **tas** (C++ : `new/delete`, C : `malloc/free`)
- Différents modes de passage des paramètres d'une procédure
 - Paramètres **NON MODIFIABLES** : Donnée,
 - Paramètres **MODIFIABLES** : donnée-résultat, résultat
 - Donnée : la procédure travaille sur une copie (*passage par valeur*) ou sur l'original en s'engageant à ne pas le modifier (*const référence*)
 - 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

Retour sur la PILE et le TAS

- Pile
 - Empilement des variables du programme au fur et à mesure de leurs définitions
 - Dépilement dans l'ordre inverse, à la sortie d'un bloc
- Tas
 - Le tas sert à réserver de la mémoire pour des données qui doivent survivre à la sortie d'un bloc

Dans la mémoire, il y a aussi le segment de code, le segment de données (dont RODATA)

9

9

Retour sur la PILE et le TAS

Registres du processeur :

- Un registre de pointeur de pile pointe sur le sommet courant de la pile.
- Un registre de pointeur d'instruction pointe sur la prochaine instruction à exécuter

L'ensemble des valeurs empilées par un appel à une fonction est appelé "trame de pile" (contient notamment l'adresse de l'instruction à exécuter au retour de la fonction).

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
 - Attention : Cela concerne aussi les arguments des procédures et fonctions!**
 - Lieu où sont retournées les **valeurs des fonctions**
 - Dépilement** à la fin de l'instruction contenant l'appel de la fonction

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

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

Paramètres formels

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;
}
```

Valeur retour	
a	4
b	2
res	

Paramètres formels

Appel moyenne(x,2)

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;
}
```

Valeur retour	
a	4
b	2
res	3

Paramètres formels

Appel moyenne

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;
}
```

Valeur retour	3
a	4
b	2
res	3

Paramètres formels

Appel moyenne

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;
}
```

Valeur retour 3

18

Evolution de la pile (suite)

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

x	4
d	3

19

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

20

Prérequis C/C++

int ff(int a)	//5 VR _{ff} et a empilés à l'appel de ff
{ int b=4;	//6 Empilement de b
return a+b;	//7 Initialisation de VR _{ff} (valeur retour)
}	//8 Dépilement de b et de a
int main()	//1 VR _{main} 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 VR _{ff} au ;
i=i+1;	//10 Dépilement de j
return 0;	//11
}	//12 Initialisation de VR _{main}
	//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 peut/doit être stockée dans 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

Retour sur les pointeurs et les références

24

24

Pointeurs et adressage en C/C++

- **Opérateur &**
Accès à la valeur de l'adresse d'une variable
- Une adresse peut-être stockée dans une variable de type pointeur

```
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++

25

25

• Définition de variables de types pointeur

```
Nom_Type* nom_variable;
```

nom_variable peut contenir l'adresse d'un autre emplacement de type **Nom_Type**

```
Ex : int* pa;
```

pa destinée à contenir des adresses de variables ou emplacements de type **int**

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

26

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 ici identique à *(&a)
et 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 (alias) a
```

//sur la variable b

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

- Différence entre (type) pointeur (LIFAPSD) et (pseudo-type) référence (LIFAPI)

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+3;
```

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

31

Attention!

- Avec const, on peut également créer des références sur des valeurs!!!!
const int & c=15;
//Dans ce cas un temporaire
// est empilé pour stocker 15

32

32

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

33

33

```
int a=3;
int &b=a;
```

b ≡ a



34

34

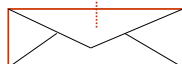
```
int a=3;
int &b=a;
```

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

35

35

Rappel LIFAPI : Passage de paramètres MODIFIABLES (résultat ou donnée résultat) à une procédure en C++ avec des références

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);

36

36

A utiliser en lieu et place des pointeurs pour les passages de paramètres MODIFIABLES (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 dans la syntaxe d'appel, mais il faut faire le travail d'indirection!

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

37

37

Passages de paramètres des procédures C++

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

38

38

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

39

39

Types composites

- Possibilité de créer des types composites : class et struct
- Dans une class (resp. struct) les données membres et fonctions membres sont private (resp. public) par défaut (ie. si non spécifié).

```
class Complexe
{ private :
  double re, im;
  double ro, theta;
public :
  void affiche() const;
};
```

40

40

Types composites

```
class Complexe
{ private :
  double re, im;
  double ro, theta;
public :
  void affiche();
};
void Complexe::affiche() const
{ std::cout << this->ro << theta << std::endl;}
```

this est un pointeur sur le Complexe auquel s'applique affiche()

Définition et utilisation d'une variable de type Complexe
Complexe z; //Création puis initialisation de z sur la pile
z.affiche(); //Invocation de affiche() sur z

41

41

Mécanisme des Constructeurs et Destructeurs

- Mécanisme des constructeurs :**
Permet d'**initialiser automatiquement** une instance d'une classe **au moment de sa création** (dans la pile ou dans le tas), sans faire d'appel explicite à la fonction utilisée pour cela.
- Les fonctions d'initialisation automatique sont appelées constructeurs.
- Mécanisme des destructeurs :**
Permet l'exécution **automatique** d'un ensemble d'instructions **juste avant la disparition** d'une instance d'une classe, sans appel explicite. La fonction appelée automatiquement est le destructeur.

42

```

class Complexe
{ private :
  double re, im, ro, theta;
public :
  Complexe(double r, double i); // Constructeur
  ~Complexe() // Destructeur
  {std::cout << « je vais mourir »;}
};
Complexe::Complexe(double r, double i)
: re(r), im(i)
{ std::cout << « Je viens de naitre »;
  ro=std::sqrt(re*re+im*im); theta = std::atan(i/r);
}
Définition et initialisation automatique d'une variable de
type Complexe
Complexe z(3.0, 5.5);

```

43

43

```

int main() //1 VRmain créée sur la pile
{
  int i; //2 Variable i créée sur la pile
  Complexe z(3.0, 5.5); //3 Variable z créée sur la pile
                          // et initialisée par appel
                          // automatique au constructeur
                          // de la classe Complexe
  z.affiche() //4 appel à la fonction membre affiche
              sur z
}; //5 appel au destructeur sur z
    //6 z dépilé de la pile
    //7 i dépilé

```

44

44

Mécanisme d'affectation

- On peut aussi spécifier quel sens on veut donner à l'affectation des variables d'une classe.
- Surcharge de l'opérateur d'affectation
operator=

45

45

```

class Complexe
{ private :
  double re, im, ro, theta;
public :
  ...
  Complexe & operator =(const Complexe & zz)
  {this->re=zz.re; etc...}
};

```

Utilisation :

```

Complexe z1(3.0, 5.5);
Complexe z2(0.0, 12.5);
z2=z1; // correspond à l'appel z2.operator=(z1);

```

46

46

Transparent
Optionnel

Compléments de révisions

- Une fois que les prérequis précédents sont acquis vous pourrez optionnellement aborder les 5 slides suivants

47

47

Transparent
Optionnel

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

48

48

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;
```

49

49

Que penser de :

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

Malheureusement cette fonction retourne une référence à une variable qui a été détruite au moment du retour de fonction.

A NE SURTOUT PAS FAIRE!

50

50

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

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

Est-ce une 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?

51

51

Pour éviter toute ambiguïté :

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

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

52

52

Retour sur les Types Abstraits et leur mise en œuvre en C++

53

53

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 + - * /

54

54

- 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

55

55

• Description des Types Abstraits 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 oeuvre des **types**, procédures et fonctions proposées dans l'interface + éléments internes.
 - Définition des constantes et variables globales du module.

56

56

• 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

57

57

• 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**
 - Eléments = constantes, variables globales (au module), types, procédure et fonction

58

58

```

module nombre_complexe
• importer
  Module nombre_réel {offrant le type MonRéal}
• exporter
  constante PI : MonRéal
  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 : MonRéal) {pré/postconditions ...}
  procédure testament (donnée-résultat Complexe c) {pré/postconditions}

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

```

59

59

```

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

procédure initialiser(Résultat c : Complexe, Donnée a,b : MonRéal)
  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

```

60

60

```

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

```

61

61

Programme utilisateur

- **importer**
module nombre_réel, nombre_complexe
- **variable**
 r : MonRéal
 z1 : Complexe
 z2 : Complexe
 z3 : Complexe

62

62

- 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

63

63

Transparent
Optionnel

Les quelques transparents qui suivent sont optionnels et visent à expliquer pourquoi le mécanisme des constructeurs et destructeurs a été mis en place en C++ pour permettre une logique fonctionnelle.

-> On ne peut pas invoquer explicitement le testament sur la valeur de retour d'une fonction!!!!

-> Besoin d'un mécanisme automatique

64

64

Transparent
Optionnel

- Problème : dans le programme précédent, 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

65

65

Transparent
Optionnel

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 (<, +, -, *, /)

66

66

Programme utilisateur

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

Transparent
Optionnel

Appel implicite à la procédure d'initialisation adéquate

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

67

67

Transparent
Optionnel

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), grâce aux constructeurs et destructeurs

68

68

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 (données membres de la class ou de la struct...)
 - **Implantation du module** : Fichier source (.cpp)

69

69

```
#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

    Complexe& operator = (const Complexe & z); //Pré/postconditions...
    Complexe operator +(const Complexe & z1, const Complexe & z2);
    // pour permettre les enchaînements d'affectation
}
#endif
```

NombreComplexe.h
Fichier de promesses!

70

70

```
#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--;}

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

71

71

```
#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
```

main.cpp

72

72

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

73

73

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 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*)

74

74

Attention :

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

75

75

Mot clef *static*

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

}; // **déclaration** dans le fichier complexe.h
- Le nom complet de notre variable globale est Complexe::compte_complexe
int Complexe::compte_complexe = 0;
// **A définir** dans le fichier complexe.cpp

76

76

Mot clef *static*

- On peut aussi ajouter des fonctions membres statiques dans une classe
- **class Complexe**
{ **private :**
 static int compte_complexe;

 public :
 static int get_compteur() {return compte_complexe;}
}; // **déclaration** dans le fichier complexe.h

Complexe::compte_complexe est devenu inaccessible à l'extérieur mais on peut appeler Complexe::get_compteur() pour connaître sa valeur ☺

77

77

Mot clef *static* **Transparent**

- 2 usages possibles, légèrement contradictoires :
 1. Utilisations en C++ pour définir des variables de classes : pas forcément internes, elles peuvent être exportées et utilisées à l'extérieur du module
class Complexe
{ **public :**
 static int compte_complexe;

};
Complexe::compte_complexe est utilisable partout!
 2. Utilisation héritée du C pour définir des éléments **internes** à un module, dont on ne veut pas qu'ils soient utilisés dans un autre module!
static int compte_complexe;
Utilisable uniquement dans Complexe.cpp

78

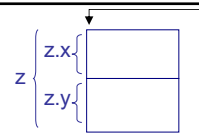
78

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

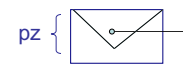
79

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

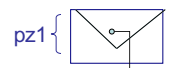


```
Complexe *pz=&z;
```

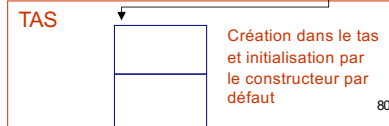
Notations :
(*pz).x peut s'écrire pz->x



```
Complexe *pz1=new Complexe;
```



```
...  
delete pz1;
```



80

80

- 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

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

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

81

81

- 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);

82

82

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

83

83

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 &)

84

84

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 leurs propres lois de copie
 - Pour un type primitif la copie employée est une copie bit à bit

85

85

- 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?
```

86

86

- 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

87

87

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 ~

88

88

```
struct CC
{
    CC();
    ~CC();

    int *ad;
};

CC::CC()
{ ad=new int[5]; }

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?

89

89

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!

90

90

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 &);
- Si vous ne l'avez pas codé? Existence d'un opérateur d'affectation implicite qui fait une copie des champs

91