2017-2018, 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

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

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

Un point important

- Cours Magistral écologique :
  - Vous n'avez besoin que d'une feuille de papier et pas de vos téléphones et ordinateurs portables

Bibliographie Algorithmique

- **Introduction à l'algorithmique**, T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest, Dunod
- **Structures de données et algorithmes**, A. Aho, J. Hoptcroft, 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

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**!

Bibliographie C++

- **C++ Primer**, Lippman & Lajoie, Third Edition, Addison-Wesley, 1998
- **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)

7

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

8

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
    - Donnée-Résultat : la procédure travaille sur l'original
- Notion de pointeur et de référence
- Arithmétique des pointeurs
- Type Abstrait et Programmation Modulaire (.hpp .cpp)
- Nuance entre définition et déclaration

9

Prérequis C/C++

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

10

Retour sur la PILE et le TAS

11

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
    Dépilement à la fin du bloc {} de définition
  - Lieu où sont retournées les valeurs des fonctions
    Dépilement à la fin de l'instruction contenant l'appel

Attention : Cela concerne aussi les arguments des procédures et fonctions!

12

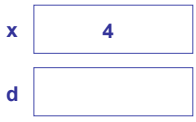
Définition de fonctions en C++

```
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 ?

Evolution de la pile

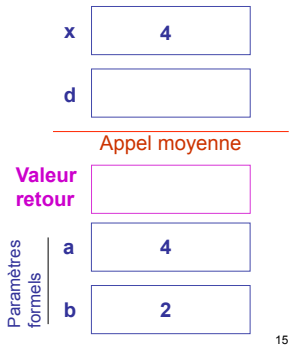
```
float x=4,d;
...
```



Attention : il s'agit ici d'un modèle pédagogique de l'évolution de la pile, la mise en œuvre des retours de fonctions pourra être légèrement différente en pratique!

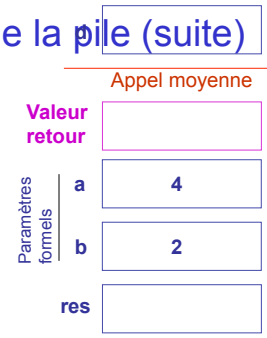
Evolution de la pile (suite)

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

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



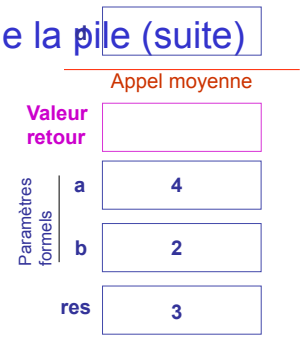
Evolution de la pile (suite)

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

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



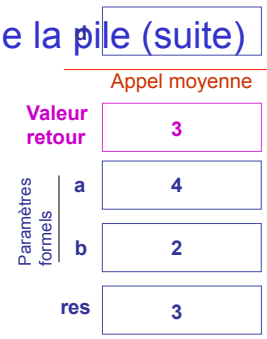
Evolution de la pile (suite)

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

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



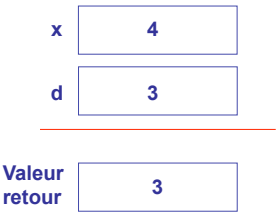
Evolution de la pile (suite)

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

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



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;
}
```



Evolution de la pile (suite)

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

Prérequis C/C++

```
int ff(int a)
  { int b=4;
    return a+b;
  }
int main()
  { int i=5;
    i=i+1;
    { int j = 55;
      j=ff(i);
    }
   i++;
   return 0;
  }
```


Prérequis C/C++

```
int ff(int a)          // VRff et a empilés à l'appel de ff
  { int b=4;           // Empilement de b
    return a+i;        // Initialisation de VRff (valeur retour)
  }                    // Dépilement de b et de a
int main()             // VRmain empilée à l'appel du main
  { int i=5;           // Empilement de i
    i=i+1;
    { int j = 55;      // Empilement de j
      j=ff(i);         //Appel ff empile/dépilement VRff au ;
    }                  // Dépilement de j
   i++;
   return 0;           // Initialisation de VRmain
  }                    // Dépilement de i
```


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

Prérequis C/C++

```
int main()             // Empilement de VRmain
  { int i=5;           // Empilement de i
    { int*  pi;        // Empilement de pi
      pi=new int;      // Allocation dynamique de mémoire
      *pi=i+5;
       i=*pi+1;
      delete pi;       // Désallocation de l'espace pointé
    }                  // Dépilement de pi
   i++;
   return 0;           // Initialisation de VRrmain
  }
```

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++

25

Retour sur les pointeurs et les références

26

- **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 ;
  // ou a est une variable de type int

27

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

  Ex : ici ***pa** désigne 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++)

28

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)

29

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)

30

- 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;
```

- On peut également créer des références sur des valeurs!!!!!

```
const int & c=15;
```

31

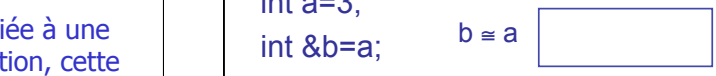
- Une référence **doit** être initialisée au moment de sa définition
  - Par un identifiant d'un emplacement mémoire de valeur modifiable (*l-value*) dans le cas d'une référence **T &**
  - Par un identifiant d'un emplacement mémoire de valeur modifiable ou non, ou bien par une valeur constante dans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

32

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

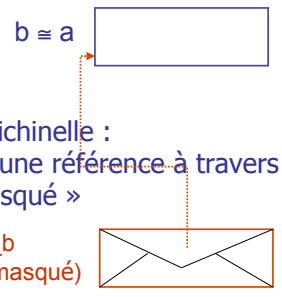
33

int a=3;
int &b=a;



34

int a=3;
int &b=a;



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

Chaque occurrence de b dans le programme est remplacée par *pm_b

35

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);
```

36

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 références supprime l'ambiguité de savoir si on travaille sur des pointeurs ou sur des int

A l'appel

```
int aa=4, bb=5;
swap(&aa,&bb);
```


Passages de paramères 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;
}
```


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

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;
```


Que penser de :

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



```
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?

Pour éviter toute ambiguïté :

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


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

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 + - * /

- 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

- **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. Définition des constantes et variables globales du module.

- 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
- 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

- **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

49

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 opérateur ← (donnée-résultat Complexe c1, donnée Complexe c2) {pré/postconditions…}
  procédure affiche (donnée Complexe c) {pré/postconditions …}
  Complexe **fonction** opérateur + (Complexe c1, Complexe c2) {préconditions et résultat…}
  …

50

- **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
```

51

```
procédure opérateur ← (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 opérateur + (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

52

Programme utilisateur

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

53

- Début
  r←5
  initialiser(z1,r,PI)
  initialiser(z2,z1)
  initialiser(z3)
  opérateur← (z2, z3)
  z3 opérateur← (opérateur+(z1,z2))
  affiche(z2)
  testament(z1)
  testament(z2)
  testament(z3)
- Fin

54

- Problème : La valeur de cmpte_complexe n'est pas nulle à la fin de l'éxécution du programme!
- La fonction 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

55

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

56

Programme utilisateur

- **importer**
  module nombre_réel, nombre_complexe
- **variable**
  r : MonRéel ← 5
  z1 : Complexe ← (r,PI)
  z2 : Complexe ← z1
  z3 : Complexe

  Appel implicite à la procédure d'initialisation adéquate
- Début
  z2 ←z3
  z3 ←z1+z2
  affiche(z2)
  Fin

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

57

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)

58

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)

59

NombreComplexe.h
Fichier de promesses!

```
#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 MonRee& b);// Pré/postconditions

   Procédure testament (destructeur)
   ~Complexe(); //Pré/postconditions…

   void affiche() const;  //Préconditions et résultat

   Complexe& operator = (const Complexe & z); //Pré/postconditions…
  };
                pour permettre les enchaînements d'affectation

  Complexe operator +(const Complexe & z1, const Complexe & z2);
#endif
```

60

NombreComplexe.cpp

```
#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
      {…}
```


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
```


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.
- Idem pour la procédure de **testament automatique** avant disparition (**destructeur**) d'un Complexe
- Idem pour la surcharge de l'opérateur d'affectation
- Accès au Complexe concerné via un pointeur : this

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

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*)

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 +

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

NombreComplexe.h
Fichier de promesses!

```
#ifndef __NBCOMP
#define __NBCOMP
#include ''NombreReel.h'' //type MonReel

   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
```


NombreComplexe.cpp

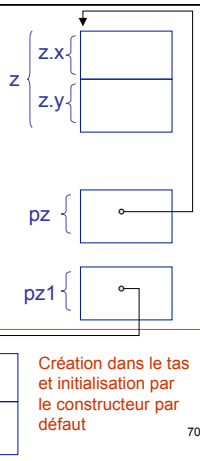
```
#include ''NombreReel.h''
#include ''NombreComplexe.h ''
#include <iostream>

   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

Constructeurs

- Pas de valeur par défaut des données membres dans la définition d'une structure
- 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


```
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;
```



Création dans le tas et initialisation par le constructeur par défaut

- 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}
…
```


- 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);
```

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

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

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

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

- 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

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

```
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?

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

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